

Bedrohte **ALPENGLETSCHER**

Alpine Raumordnung Nr. 27

Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins



Die Drucklegung dieses Bandes wurde durch die Förderung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft möglich.

Impressum

Herausgeber und Verleger:

Oesterreichischer Alpenverein
Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz
Wilhelm-Greil-Straße 15
Postfach 318
A-6010 Innsbruck

Für den Inhalt verantwortlich:

Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz
des Oesterreichischen Alpenvereins
E-mail: raumplanung.naturschutz@alpenverein.at
www.alpenverein.at/naturschutz

Fotonachweis:

A. Kääb: S. 22
Archiv KfG: S. 43, 45 (l.)
AV-Kartographie: S. 8 (l.o.)
Ch. Schwann: S. 12
E. Schwienbacher: S. 56
E. Unterberger: S. 8 (u.r.)
Gesellschaft für ökologische Forschung München: S. 24 (Bild D)
H. Barnick: S. 8 (o.), 11,
H. Diem: S. 47
H. Slupetzky: S. 16, 24 (Bildtafel), 25, 26, 27, 28, 29, 30 (Bildtafel), 50, 51, 52, 54, 55 (Bildtafel), 65
J. Essl: S. 18, 20
K. Eisank: S. 8 (m.r.)
L. Braun: S. 44 (l.), 45 (r.)
L. Füreder: S. 63
M. Kuhn: S. 38 (l.o.), 39 (l.u.), 40
M. Weber: S. 44 (r.)
OeAV-Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz: S. 7, 8 (u.), 14, 19, 32, 57, 59
P. Plattner: S. 17, 33
P. Rohmoser: S. 53
R. Kaufmann: S. 58
Th. Pichler: S. 39 (r.o.)
W. Retter: S. 9, 13, 60
W. Schachinger: S. 10

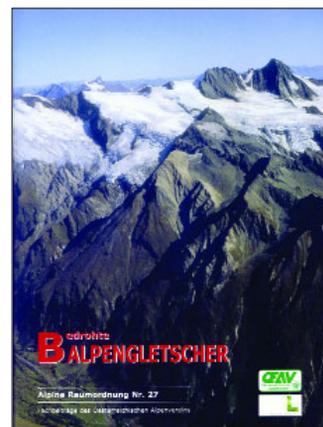
Satellitenbild: GEOSPACE Beckel Satellitenbilddaten GmbH/Salzburg (S. 7)

Layout und grafische Gestaltung:

Josef Essl (Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz des OeAV)

Druck:

aristos Druckzentrum GmbH & Co KG, Hall in Tirol



Das Dorfertal in Osttirol mit dem Großglockner (3.798 m). An der Südostseite des Glockners (v.l. n. r.) das Vordere Kasten-, Laperwitz-, Fruschnitz- und Teischnitzkees. In den 1970er und 80er Jahren war das Dorfertal „heiß umfahdet, wild umstritten“, weil hier der größte Stausee Österreichs mit einer 222 m hohen Staumauer in der Daberkamm geplant war. Alle Gletscherbäche der Venediger-Südseite wären hierher geleitet worden.

Foto: H. Slupetzky

Bedrohte Alpengletscher

Redaktionelle Bearbeitung: Heinz Slupetzky

Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins
Serie: Alpine Raumordnung Nr. 27

Innsbruck
2005



Noch prägen das Bild der Alpen große Talgletscher, imposante Eiswände und weiße Firngrate. Regionale Klimamodelle sagen jedoch den Alpen in den nächsten 30 Jahren eine Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur und Veränderungen des Niederschlags voraus.

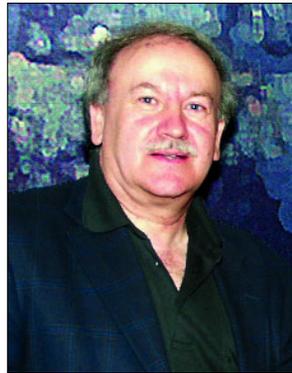
Die Gletscher als die wohl exponiertesten Teile der alpinen Gebirgszüge sind ob ihrer Multifunktionalität, sei es als lebenswichtiger Trinkwasserspeicher, sei es als wichtige Ressource für die Energiewirtschaft oder als unverzichtbarer Beitrag zum Tourismus, vom Klimawandel besonders betroffen.

Das vorliegende Buch des Oesterreichischen Alpenvereins gibt einen Einblick in die mittlerweile schon dramatischen Ereignisse der letzten Jahrzehnte und zeichnet ein mögliches Zukunftsbild für diese prägenden Landschaftselemente. Es ist aber auch ein Appell an alle Verantwortlichen innerhalb und außerhalb des Alpenbogens, die Gletscher, die nicht nur alpiner Mythos, sondern Identifikationselemente für ganze Regionen und Länder sind, durch gemeinsame Anstrengungen zu erhalten.

Dipl.-Ing. Josef Pröll
Lebensminister

Bedrohte Alpengletscher

Heinz Slupetzky & Peter Haßlacher



Zu keiner Zeit in der Geschichte der Besiedlung und Nutzung des alpinen Lebensraumes sind die Gletscher derart als Ressource betrachtet worden wie heute. Und in den vergangenen 150 Jahren, seit man mehr und mehr über die Gletscher und ihre Reaktion auf das Klima und seine Änderungen weiß, war noch kein Zeitpunkt, zu dem die Gletscher so rasch dahin schmolzen. Daher sind heute wie niemals zuvor, „die Alpengletscher doppelt bedroht“!

Gerade im Zusammenhang mit der globalen Klimaerwärmung und den vielfältigen Auswirkungen, die darauf zurückgeführt werden (können), erhalten die Gletscher eine besondere Bedeutung: Durch sie wird der Klimawandel sichtbar, greifbar, erlebbar; besonders in den Alpen, wo das Wirken des Menschen seit vielen Generationen mit den Gletschern in Berührung kam. In der Gegenwart ist die weitgehend naturbelassene Hochregion von Schnee und Gletschereis stärker denn je gefährdet. In vielen Gebieten ist sie von Technik und Freizeitkult vereinnahmt und zur reinen Ressource degradiert.

Gletscher sind Sensoren des Klimawandels. Die schlimmsten Szenarien zeichnen das Bild gletscherloser Alpen. Daher sind Gletscher eines der einprägsamsten natürlichen Warnzeichen für den Klimawandel und ganz besonders dafür geeignet, in der Öffentlichkeit die Problematik der Beeinflussung des Klimas durch den Menschen bewusst zu machen - und die Notwendigkeit des Gegensteuerns.

Der Oesterreichische Alpenverein befasst sich nicht erst seit einigen Jahren mit den Alpengletschern. Viele vereinseigene Publikationen und vor allem die Arbeit des Gletschermessdienstes zeugen davon. In den drei letzten Jahrzehnten ist zunehmend der rechtliche Schutz der Gletscher und ihrer Vorfelder dazugekommen. Gemäß den Vereinsbeschlüssen konnten einige gesetzliche Schutzklauseln erreicht werden. In allerletzter Zeit gibt es in Tirol, aber auch in Salzburg, wieder heftige Diskussionen um die technische Erschließung weiterer Gletscher und gleichzeitig die Verankerung des Gletscherschutzes.

Für Sektionen des Alpenvereins, interessierte Funktionäre und Mitglieder, aber auch für den Kreis der beobachtenden Öffentlichkeit stehen die Gletscher in hohem und dauerhaftem Interesse. Um diesem Kreis eine erstklassige und alle Facetten beleuchtende Information anbieten zu können, hat der Oesterreichische Alpenverein diese Publikation mit Förderung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft zusammengestellt und übergibt sie hiermit der Öffentlichkeit.

Es konnten namhafte Fachleute aus vielen Wissensgebieten für die Beiträge gewonnen werden. Die inhaltliche Redaktion lag in Händen von Heinz Slupetzky, die Schriftleitung bei der Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz des OeAV.

Die Bebilderung in der Gletscherbroschüre zum Thema Eis und Gletscher soll sichtbar und bewusst machen, was die Gletscher in den Alpen für uns bedeuten und welche nicht zu schließende Lücke sie hinterlassen, würden sie völlig verschwinden.

Der Schutz der Alpengletscher und ihrer Vorfelder sowie die Bewahrung ihrer Natürlichkeit und Ursprünglichkeit für uns und die zukünftigen Generationen bedarf verstandesmäßig - rechtlicher Maßnahmen. Erleichtert und abgesichert wird dieses große Ziel aber nur: Wenn es in den Herzen vieler verankert ist. Dann sind die Gletscher „doppelt geschützt“!

INHALT

Vorwort	4
<i>Heinz Slupetzky & Peter Haßlacher</i> Bedrohte Alpengletscher	5
<i>Peter Haßlacher</i> Gletscherschutz - ein wichtiger Baustein der Alpenen Raumordnung	7
<i>Hans Elsasser & Rolf Bürki</i> Klimawandel und (Gletscher-)Tourismus	16
<i>Heinz Slupetzky</i> Naturphänomen Gletscher	25
<i>Clemens M. Hutter</i> Von angstbesetzten Mythen zur touristischen Attraktion	31
<i>Michael Kuhn</i> Gletscher im Klimawandel	35
<i>Ludwig Braun & Markus Weber</i> Gletscher - Wasserkreislauf und Wasserspende	41
<i>Kurt Nicolussi</i> Gletscher der Alpen - vom Anwachsen und Abschmelzen	47
<i>Heinz Slupetzky</i> Die Gletschergeben Neuland frei: Das Gletschervorfeld	50
<i>Brigitta Erschbamer</i> Gletschervorfeld - ein neuer Lebensraum entsteht	56
<i>Leopold Füreder</i> Gletscherbäche - faszinierendes Leben in extremen Lebensräumen	60
Bilderklärungen zur Seite 24	67
Bilderklärungen zur Seite 30	68
Bilderklärungen zur Seite 55	69
Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins - Serie: Alpine Raumordnung	70

Gletscherschutz - ein wichtiger Baustein der Alpenen Raumordnung

Peter Haßlacher

Seit Jahrhunderten üben Gletscher auf Menschen eine starke Faszination aus. Das leuchtende Weiß der „ewigen Firne“ als Symbol im Mythos Alpen für lockende, reine, unberührte, wilde, unbezähmbare, dem Himmel nahe, zur Bewährung herausfordernde, Wasser und Leben spendende, heile Natur ist ein markantes Element der Hochgebirgsfaszination. Viele Wissenschaftsdisziplinen befassen sich mit diesem Phänomen Gletscher und seinem Vorfeld. Sein gesetzlich verankerter Schutz ist erst seit dem Bemühen vieler alpiner Regionen, die Gletscher für den massentouristischen Pistenschilaf zu nutzen, ein gesellschaftspolitisch interessantes Thema geworden.

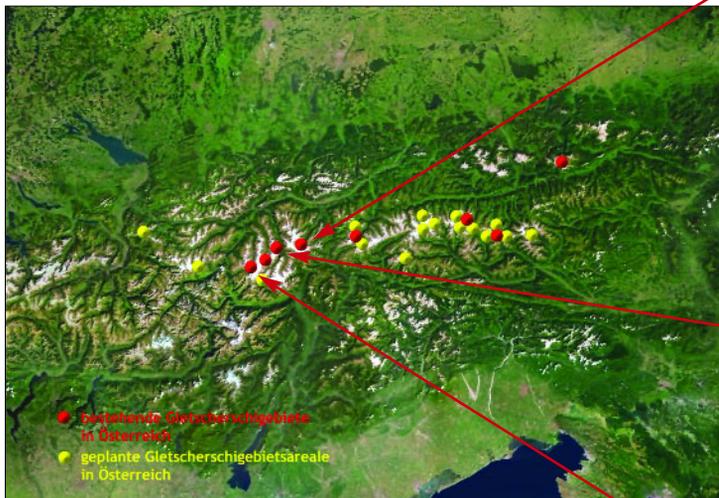
derer Projektskizzen und Planungen hingegen ist aus unterschiedlichen Gründen nicht verwirklicht worden.

Hier eine Auswahl:

- ◆ Brandner Gletscher samt der Toten Alpe im Vorarlberger Brandnertal
- ◆ Erschließung des Jamtalferners in der Tiroler Gemeinde Galtür/Paznauntal
- ◆ schitouristische Verbindung von Vent über Hochjoch Hospiz, Hochjochferner zum Südtiroler Gletscherschigebiet Schnalstal
- ◆ Zubringerbahnen zum Hintertuxer Gletscherschigebiet vom Schmirntal im Westen und von der Schlegeis-Alpenstraße im Osten

Ein Blick zurück ...

Die Liste jener Gletscher und Berggipfel ist lang, welche von einzelnen Seilbahnunternehmern, Kommunal- und Regionalpolitikern zur Erschließung für den Pistenschilaf ins Visier genommen worden sind. Für insgesamt acht Gletscherschigebiete hat es immerhin gereicht: Kitzsteinhorn-Kaprunertal (er-



öffnet 1966), Hintertux-Zillertal (1967), Dachstein-Ramsau (1969), Hochstubai-Stubaital (1973), Rettenbach- und Tiefenbachferner-Ötztal (1975), Weißseeferner-Kaunertal (1980), Mittelberg- und Brunnenkogelferner-Pitztal (1983) und Wurtenkees/Mölltaler Gletscherbahnen (1987). Eine ganze Reihe an-



Im Jahre 1980 entschied sich das Bergsteigerdorf Vent in den Ötztaler Alpen gegen den schitechnischen Zusammenschluss mit dem Schnalstaler Gletscherschigebiet über den Hochjochferner (rechts im Bild).

- ◆ Sommer-Schigebiet Großvenediger im Oberpinzgau/Salzburg (Krimml-Neukirchen a. Grv.): Zubringer mittels Hubschrauber (BRAUMANN 1993: 98)
- ◆ Schigebiet Weißsee mit der schitechnischen Erschließung des Sonnblickkeeses/Granatspitze (Utendorf/Salzburg)
- ◆ Erschließung des Scharecks (3.122 m) und damit Anbindung an die Mölltaler Gletscherbahnen/Wurtenkees von Sportgastein aus; Verbindung von Rauris/Kolm Saigurn zu den Mölltaler Gletscherbahnen
- ◆ Verbindung Großes Fleißtal (Heiligenblut) - Hoher Sonnblick mit Kleinfleißkees mit dem Wurtenkees (Flattach)
- ◆ Erweiterung des bestehenden Gletscherschigebietes Kaprun-Kitzsteinhorn in Richtung Hocheiser
- ◆ Erschließung des Hochalmkeeses im Kärntner Malatal
- ◆ Errichtung eines Sommerschigebietes auf der Pasterze/Johannisberg (HANSELY u. GLANZER 1966)
- ◆ Errichtung des Großvenediger Schisportzentrums (Osttirol) mit Venediger-Südseite und/oder Venediger-Ostseite (ÖIR 1975)
- ◆ Ausbau des Projektes Obersee/Staller Sattel in der Gemeinde St. Jakob i.D. zum Almerkees (Rieserfernergruppe).

Andererseits hat es schon sehr früh Bestrebungen gegeben, imposante Hochgebirgslandschaften einschließlich ihrer Gletscher unter Schutz zu stellen. Nach langem Hin und Her ist bereits am 1. Juli 1935



Bild 1: Das älteste Gletscherschigebiet am Gefrorene Wand Kees im hinteren Zillertal. Südlich dahinter die Gletscherwelt des Zillertaler Hauptkamms im Hochgebirgs-Naturpark Zillertaler Alpen. Vom Westen (Schmirntal) und auch vom Osten (Schlegeis-Alpenstraße) waren Zubringerbahnen geplant.

Bild 2: Es gab konkrete Pläne, die Hochalmspitze und das Hochalmkees schitechnisch zu erschließen. Im Jahre 1988 konnte der OeAV das Hochalmkees im Ausmaß von 7,5 km² erwerben. Eine Erschließung war damit nicht mehr möglich. Das gesamte Hochalmgebiet liegt heute im Nationalpark Hohe Tauern.

Bild 3: Die Gemeinde Galtür schmiedete konkrete Pläne, den Jamtalferner (links) mit Seilbahnen und Schipisten zu erschließen.



Der Großvenediger, umrahmt von der imposanten Gletscherwelt der Venedigergruppe: Obersulzbach-, Dorfer-, Mullwitz- und Zettalunitzkees (von Nord nach Süd). Mit dem Beschluss des Tiroler Nationalparkgesetzes im Jahre 1991 endeten die Erschließungspläne im Bereich Venediger Süd-West.

die Verordnung der Landeshauptmannschaft Kärnten, womit das Alpenvereinsgrundeigentum mit Großglockner und Pasterze in Heiligenblut unter Naturschutz gestellt wird, in Kraft getreten (LGBl. Nr. 43/ 1935) (GELB 1989: 103). Damit wurde der Grundstein für den späteren Nationalpark Hohe Tauern (1981) gelegt. Auf der Nordabdachung der Hohen Tauern im oberen Oberpinzgau erfolgte die erste Unterschutzstellung im Jahre 1958. Das Wildgerlostal, Krimmler Achental, Unter- und Obersulzbachtal wurden zum Landschaftsschutzgebiet erklärt. Das Naturschutzgebiet Dachstein ist erstmals 1963 von der Landesregierung Oberösterreichs verordnet worden (LGBl. Nr. 25/1963).

Trotz dieser frühen Bemühungen um einen wirksamen Flächenschutz hat es immer wieder Planungen und Projekte gegeben, in eben diesen Gebieten Infrastrukturen für den Pistenschilaf zu errichten. Sogar auf die Pasterze, seit 70 Jahren unter Schutz, - heute Sonderschutzgebiet im Nationalpark Hohe Tauern-Kärnten, Natura 2000-Gebiet - soll nach Plänen aus dem oberen Mölltal eine Seilschwebbahn gebaut werden. Am Dachstein wurden die Schutzbestimmungen nach LGBl. Nr. 25/1963 durch den Betrieb der so genannten Gletschertaxis am Hallstät-

ter Gletscher und die schitouristische Nutzung des Schladminger Gletschers unterlaufen (MAIER 1994: 80).

Diese zwei Beispiele unterstreichen den permanenten strukturellen Nachteil des Naturschutzes: Seilbahnunternehmen können x-fach Anläufe unternehmen, um ihr Ziel zur Errichtung von Infrastrukturen zu erreichen. Das macht offensichtlich auch vor Schutzgebieten nicht Halt. Sind die Vertreter des Naturschutzes andererseits nur ein einziges Mal nicht am Posten und verlieren den Interessenkonflikt, dann ist eine imposante Hochgebirgslandschaft ein für alle Mal verloren.

Gletscherschutz in den Naturschutzgesetzen der Länder

Spätestens seit den heftigen Auseinandersetzungen um die technische Erschließung von Gletschern für den Pistenschilaf in den frühen 1980er-Jahren - Brandner Gletscher/Schesaplana in Vorarlberg (ÖR 1983), Weißseeferner im Kaunertal/Tirol, Mittelberg- und Brunnenkogelferner im Pitztal/Tirol, Wurttenkees im Mölltal/Kärnten - haben die Bundeslän-

der in ihren Naturschutzgesetzgebungen die Bremse gezogen und ein erstes generelles Erschließungsverbot von neuen Gletschern in den jeweiligen Landtagen beschlossen.

Vorarlberg

Im Jahre 1981 beschloss der Vorarlberger Landtag als erstes österreichisches Bundesland einen absoluten Gletscherschutz: „*Im Bereich von Gletschern und ihrer Einzugsgebiete ist jegliche Veränderung in der Landschaft verboten*“ (LGBl. Nr. 1/1982). Im Gesetz über Naturschutz und Landschaftsentwicklung wird der Schutz von Gletschern und der Alpenregion fortgeschrieben (LGBl. Nr. 22/1997).

Kärnten

Nach den Auseinandersetzungen rund um die Erschließung des Wurtenkees beschloss der Kärntner Landtag am 3. Juni 1986 im Kärntner Naturschutzgesetz den Schutz der Kärntner Gletscher (LGBl. Nr. 54/1986).

Tirol

Im Jahre 1990 beschloss der Tiroler Landtag eine weitreichende Novellierung des ersten Tiroler Naturschutzgesetzes 1975 und erstmals die Aufnahme des Gletscherschutzes in die Reihe der allgemeinen Verbote: „*Jede nachhaltige Beeinträchtigung der Gletscher und ihrer Einzugsgebiete ist verboten*“ (LGBl. Nr. 52/1990).

Salzburg

Im Bundesland Salzburg beschloss der Landtag am 11. März 1992 im Rahmen der Naturschutzgesetz-Novelle 1992 den Schutz von Lebensräumen, worunter auch „*das alpine Ödland einschließlich der Gletscher und deren Umfeld*“ fallen, aber Ausnahmeregelungen möglich sind (LGBl. Nr. 41/1992).

Auch die Raumordnung steht nicht abseits

Zusätzlich zu diesen generellen naturschutzrechtlichen Festlegungen sind auch Regelungen im Bereich Raumplanung beschlossen worden. So erstmals im Jahre 1990 in Salzburg in den „Richtlinien für Schierschließung“ noch vor der Verankerung des Gletscherschutzes im Naturschutzgesetz geschehen. In diesem Sachbereichsprogramm der Raumordnung heißt es unter den Grundsätzen für Erschließungsmaßnahmen: „*Die Schaffung von weite-*

ren Schigebieten und die Erschließung von weiteren Gletschern für den Pistenschilaf wird abgelehnt.“ Diese Festlegung wurde im Jahre 2005 neuerlich bestätigt (TRINKL 2005: 23).

In den Seilbahngrundsätzen des Landes Tirol 2000-2004 wird klar darauf hingewiesen, dass diese die einschlägigen Bestimmungen beispielsweise nach dem Tiroler Naturschutzgesetz (► Schutz der Gletscher und von Schutzgebieten) nicht ersetzen. Im neuen Tiroler Seilbahn- und Schigebietsprogramm 2005 (LGBl. Nr. 10/2005) ist festgehalten, dass die Erweiterung bestehender Schigebiete nicht zulässig ist, wenn „*die Gletscher, ihre Einzugsgebiete und ihre im Nahbereich gelegenen Moränen in Anspruch genommen werden*“.

Tiroler Anlassgesetzgebung für neue Gletschererschließungen

Das furchtbare Seilbahnunglück im Bereich der Zubringerbahn in das Gletscherschigebiet Kaprun-Kitzsteinhorn des Jahres 2000 brachte eine neue Dynamik in die Gletscherschutzdiskussion. Mit dem Sicherheitsargument als Anlass und Vorwand brach im hinteren Pitztal die Debatte um die Notentleerung des Gletscherschigebietes bei Ausfall des „Pitz-Express“ (Tunnelbahn) durch die Errichtung der Talabfahrt vom Mittelbergferner über das Griesltal nach Mittelberg bzw. durch die Errichtung einer Bahn auf den Linken Fernerkogel los. Diese Strategie wurde in der Folge auch in Badgastein imitiert. Die auf der Südseite der Hohen Tauern als Zubringer in das Mölltaler Gletscherschigebiet/Wurtenkees errichtete Stollenbahn sollte durch einen „sicheren“ Zu-

Von Sportgastein oder Rauris aus wurde mitten durch die Kernzone des Nationalparkes Hohe Tauern eine Seilbahn zum Wurtenkees geplant (im Bild das Schareck vom Sonnblick).



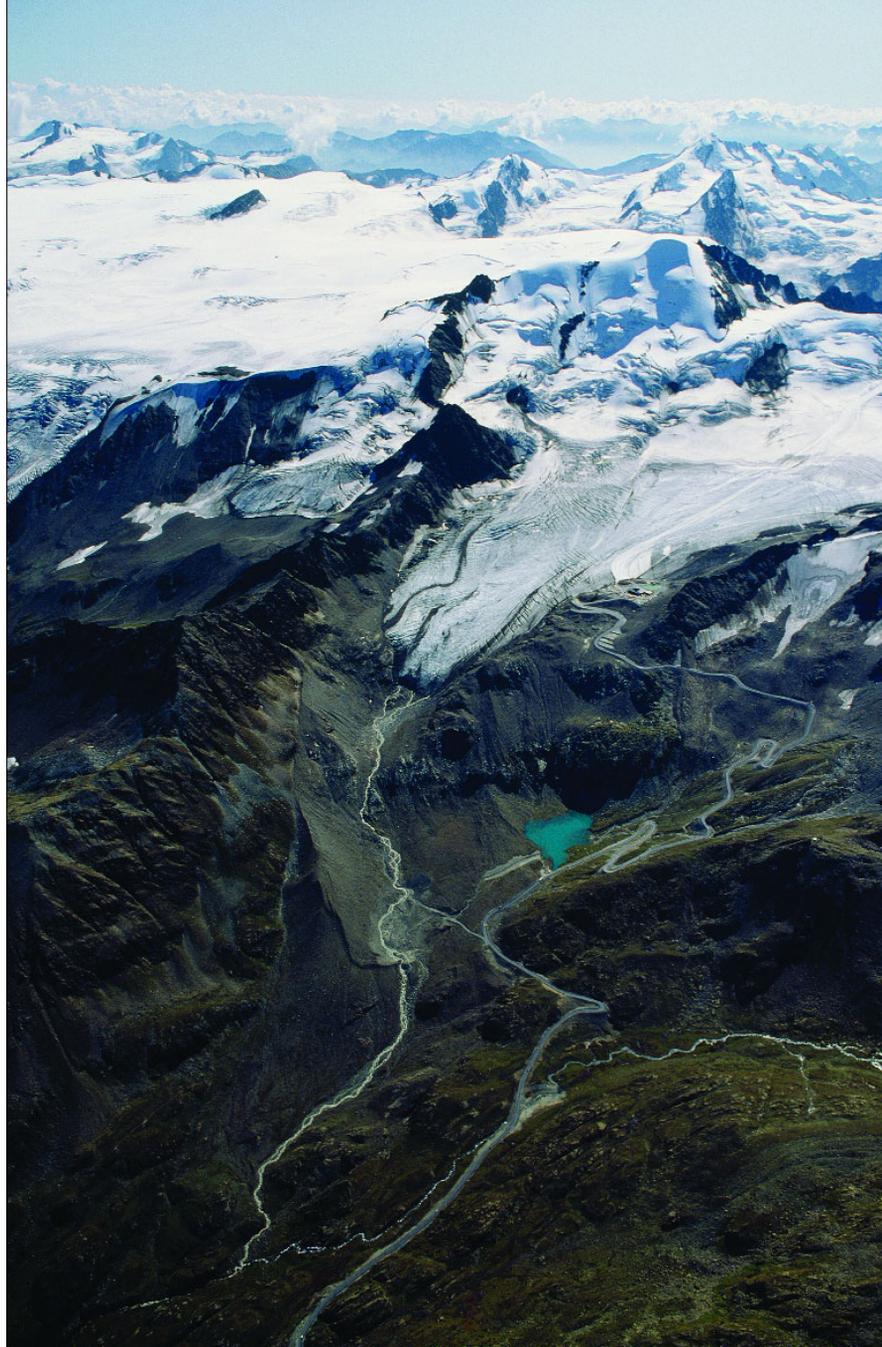
bringer von Norden von Sportgastein auf das Schareck mitten durch die Kernzone des Nationalparkes Hohe Tauern ersetzt werden.

In Tirol wurde Ernst gemacht. Bereits am 14. November 2001 beschloss der Tiroler Landtag eine Novelle des Tiroler Naturschutzgesetzes 1997, welche als „Lex Pitztal“ „die Errichtung von Anlagen, die notwendig sind, damit die in einem Gletscherschigebiet befindlichen Personen im Notfall sicher aus dem betreffenden Gebiet gelangen können“ ermöglichen sollte (LGBl. Nr. 14/2001). Trotz mehrerer Anläufe für die Errichtung einer Talabfahrt scheiterte die behördliche Genehmigung am nicht zu erbringenden Nachweis der sicheren Notentleerung (siehe auch ESSL 2002).

Im Zuge des Tiroler Landtagswahlkampfes 2003 wurde den Pitztälern und Kaunertälern ganz offensichtlich die großräumige Erweiterung der bestehenden Gletscherschigebiete versprochen. Anlässlich der Sitzung des Tiroler Landtages vom 12. Mai 2004 wurde zur effizienteren Umsetzung der Projekte das Tiroler Naturschutzgesetz in der Fassung 2001 neuerlich novelliert und ein weiteres Mal aufgeweicht. In der Naturschutzgesetznovelle 2004 wurde der Absatz hinzugefügt: „Die Landesregierung kann für bestehende Gletscherschigebiete Raumordnungsprogramme erlassen, in denen unter Bedachtnahme auf die Ziele nach § 1 Abs. 1 die Errichtung von infrastrukturellen Anlagen, die für den Tourismus von besonderer Bedeutung sind, für zulässig erklärt wird“ (LGBl. Nr. 50/2004).

Bereits am selben Tag wurde der Entwurf eines Raumordnungsprogrammes über den „Schutz der Gletscher“ im Internet des Landes Tirol veröffentlicht. In diesem Entwurf ging es in erster Linie um die Erweiterungen im Kaunertal auf die Weißseespitze samt einem Teil des Gepatschferners und im Pitztal um die Erschließung des Linken Fernerkogels samt den ihn umgebenden Gletschern und die Talabfahrt (dazu: HASSLACHER 2004 und 2005, HASSLACHER/WITTY 2004, BRUGGER/TIEFENTHALER 2004).

Erwartungsgemäß stießen diese Projekte nicht überall auf ungeteilte Freude. Der Oesterreichische Alpenverein beispielsweise startete eine Unterschriftenaktion „Hände weg von den Gletschern!“ (HASSLACHER 2005). Bis September 2005 leisteten 35.000 Personen ihre Unterschrift, wobei sich zeigt, dass



sich Alpenvereinsmitglieder aus ganz Österreich gegen die Erschließung neuer Gletscher in Tirol wenden: 20 Prozent der Unterschriften stammen aus Tirol, 80 Prozent aus den übrigen Bundesländern. Repräsentative Meinungsumfragen des OeAV (market, September 2001) und der Tiroler Naturfreunde (GMK, November 2001) zeigten klar, dass die große Mehrheit der Tiroler Bevölkerung (über 80 Prozent) keine weiteren Gletschererschließungen mehr will.

Bis Ende des Jahres 2005 hat die Tiroler Landesregierung noch kein Raumordnungsprogramm „Gletscher“ beschlossen. Das unterstreicht die These,

Das Kaunertal Gletscherschigebiet am Weißseeferner. In den Jahren 2003/04 tauchten Pläne auf, die Weißseespitze samt einem Teil des Gepatschferners für den Pistenschilf zu erschließen.



Steil bricht die Gletscherzunge des Mittelbergferners in das Griesstal ab. Geht es nach den Pitztaler Gletscherbahnen, soll zukünftig über den Mittelbergferner die Talabfahrt verlaufen.

dass ein Landtagsbeschluss politisch viel leichter herbeigeführt werden kann, als dessen Umsetzung in Form eines Programmes oder gar der behördlichen Genehmigung.

Hier kann der Landespolitik unterstellt werden, dass sie immer noch glaubt, in längst vergangenen Jahrzehnten ohne UVP, Natura 2000, Alpenkonvention, Landesumweltanwaltschaften, Parteienstellung von NGOs in UVP-Verfahren, usw. zu regieren. Letztlich kann sie trotz aller Versprechen die Hände in Unschuld waschen. Sie habe ja die gesetzlichen Voraussetzungen geschaffen. Wenn die Bescheide eine Realisierung versagen, stünde das außerhalb ihres Einflussbereichs.

Um die Anlassprojekte sowohl im Kauner- als auch im Pitztal ist es zur Zeit still geworden. Lediglich für die Talabfahrt reichten die Pitztaler Gletscherbahnen am 31. Mai 2005 ein neues Projekt zur Genehmigung ein. Seit Juni wird das UVP-Verfahren abgewickelt.

Flankenschutz für den Gletscherschutz

Der Schutz der Gletscher vor technischen Eingriffen geht heute weit über landesrechtliche Bestimmungen hinaus. Im von der Österreichischen Bundesregierung im Juli 1996 beschlossenen „Nationalen Umweltplan“ wird in Punkt 5.1 Exkurs „Skitourismus“ gefordert: „keine touristische Neuerschließung von Gletschern; Überprüfung der Erweiterungsvorhaben in bestehenden

Gletscherskigebieten auf ihre Umweltverträglichkeit“ (1995: 289).

Im Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000 wird ferner die Neuerschließung von Gletscherskigebieten nach Spalte 1 des Anhangs 1 Ziffer 12 a als Vorhaben mit einer umfassenden UVP geführt. Diese Neuerschließung kennt keinen Schwellenwert.

In der Alpendeclaration der Europaregion Tirol-Südtirol-Trentino, unterzeichnet am 26. Jänner 2001, halten die drei Länder in Artikel 4 zum Thema „Tourismus“ fest: „Die weitere Erschließung von Gletschergebieten ist hintanzuhalten.“

Im Artikel 9 unter dem Titel Umsetzung verpflichten sich die Autonome Provinz Bozen-Südtirol, die Autonome Provinz Trient und das Land Tirol, die in dieser Deklaration festgelegten Ziele und Maßnahmen im Rahmen ihrer jeweiligen Hoheitsbefugnisse in der dafür geeigneten Weise umzusetzen. Zu dieser Umsetzungsverpflichtung ist jedoch anzuführen, dass es sich bei der Alpendeclaration lediglich um eine politische



Absichtserklärung handelt, die vom Rechtscharakter her als unverbindlich einzustufen ist (WIESFLECKER 2003: 45).

„Keine touristische Neuerschließung von Gletschern“ wurde im Nationalen Umweltplan der Österreichischen Bundesregierung 1996 festgeschrieben. Dies gilt u.a. auch für die geplante Erschließung des Linken Fernerkogels (rechts) im hinteren Pitztal.

Obschon in der anlässlich der 1. Alpenkonferenz der Umweltminister 1989 in Berchtesgaden beschlossenen „Resolution“ der „Verzicht auf die schichttechnische Nutzung weiterer Gletschergebiete“ beschlossen worden ist, fand diese wiederholt vorgebrachte Forderung bis heute Aufnahme in keinem Protokoll der Alpenkonvention. Im Internationalen Jahr der Berge 2002 wurde diese Forderung unter dem Eindruck der heftigen Gletscherdiskussionen in Tirol und der zu erwartenden Aufschaukelungen in anderen Alpenregionen insbesondere von CIPRA International und den Alpenvereinen wiederum belebt. Aufgrund der fehlenden Verankerung des Gletscherschutzes etwa in den Protokollen „Naturschutz und Landschaftspflege“, „Bodenschutz“ oder „Tourismus und Freizeit“ (BGBl. III Nr. 236/235/230/2002) wird nun versucht, diesen Fragenkomplex im noch zur Verhandlung ausstehenden Protokoll „Wasser“ zu berücksichtigen. Der österreichische Lebensminister, Dipl.-Ing. Josef Pröll, hat dazu sowohl im Internationalen Jahr des Wassers 2003 als auch zu Beginn des Österreichischen Vorsitzes der Alpenkonferenz 2004-2006 sein entschiedenes Engagement signalisiert.

Schutz der Gletschervorfelder

Bisher mehr oder weniger unbeachtet blieb in Österreich der Schutz der Gletschervorfelder. Sie haben als Zeugen der Landschaftsentwicklung und der Klimageschichte eine große Bedeutung. In Gletschervorfeldern ist die Landschaftsentwicklung erfassbar. Auf kleinem Raum können alle Prozesse, die seit dem Abklingen der letzten Eiszeit das heutige, großräumige Landschaftsbild maßgeblich geprägt haben, untersucht und erklärt werden. Vereinfachend wird die Gletscherausdehnung zur Mitte des 19. Jahrhunderts, als die Alpengletscher letztmals einen Hochstand aufwiesen, als Außengrenze des Gletschervorfeldes bezeichnet („1850er-Moräne“). Das Gletschervorfeld hebt sich vom übrigen Gelände durch seine relative Vegetationsarmut und spezielle Pflanzengesellschaften ab. Bedingt sind diese Phänome-



Das vom Habachkees geformte Trogtal des Habachtals im Salzburger Anteil des Nationalparkes Hohe Tauern.

ne, die, je näher am heutigen Eisrand, desto ausgeprägter sind, durch die relativ kurze Zeit der Eisfreiheit des Geländes (BUWAL 1999).

In Österreich wurde den besonderen Schutzerfordernissen der Gletschervorfelder erstmals in der Salzburger Naturschutzgesetz-Novelle 1992 Rechnung getragen, indem die Gletscher und deren „Umfeld“ berücksichtigt worden sind (LGBL. Nr. 41/1992). Auf Anregung des Oesterreichischen Alpenvereins hat der Tiroler Landtag im Jahre 2004 anlässlich der Novellierung des Tiroler Naturschutzgesetzes eine Erweiterung des Gletscherschutzes auf das dem Gletscher vorgelagerte Vorfeld insofern vorgenommen, als „jede Beeinträchtigung der Gletscher, ihrer Einzugsgebiete und ihrer im Nahbereich gelegenen Moränen im gesamten Landesgebiet verboten ist“. Dieser Gletschervorfeldschutz beschränkt sich offensichtlich nur auf den 1850er-Moränenwall und die innerhalb dieses gelegenen Moränen. Dies wird im Rahmen von behördlichen Bewilligungsverfahren zu langwierigen Sachverständigendiskussionen führen. Trotzdem wird dieser neu eingeführte Geotopschutz neue Möglichkeiten für



Beeindruckende Gletscherszene der Öztaler Alpen.

eine effiziente Alpine Raumordnung beispielsweise in Zusammenhang mit schitouristischen Erschließungen und möglicherweise Kraftwerksbauten in diesen Räumen führen.

In der Schweiz wurde der Gletschervorfeldschutz im Rahmen des 1992 erstmals veröffentlichten Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung platziert. In der 1. Ergänzung vom 1. August 2001 ist das Inventar der Gletschervorfelder und alpinen Schwemmebenen (IGLES) oberhalb von 1.800 m hinzugekommen. Mit diesem Stand besteht das Inventar aus 227 Objekten, davon sind 162 Auengebiete, 52 Gletschervorfelder und 13 alpine Schwemmebenen (BUWAL 2002: 15).

Zusammenfassung

Der Gletscherschutz in Österreich ist im Verhältnis zur langen wissenschaftlichen Befassung mit den Gletschern erst ein Kind der letzten 25 Jahre. Er ist die Antwort auf die vielfältigen Erschließungsprojekte auf Gletschern. Als Motive für die Aufnahme des Gletscherschutzes in die Ländernaturschutzgesetzgebungen galten die Funktionen als Wasserspeicher und Klimastabilisator. Gleichzeitig spielten die

Gletscher seit der Ästhetisierung der Gebirgslandschaft im 19. Jahrhundert eine immer größere Rolle für die sich entwickelnde Freizeitgesellschaft. Der Gletscherschutz stellt heute in Zusammenhang mit der schitouristischen Wachstumsspirale ein wichtiges, stabilisierendes Instrument der Alpinen Raumordnung dar. Künftige Betrachtungen der „Gletscherregion“ müssen also über die engen Gletscherflächen hinausgehen und das weitere Umfeld miteinbeziehen. Neben Wirtschafts- und Schutzüberlegungen sind dabei wohl das Andauern des Gletscherschwundes, das Bauen im Permafrost und die potenziell zunehmenden Naturgefahren, die mit vergrößerter Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Menschen in besser zugänglichen alpinen Hochlagen neu zu bewerten sind, wichtige Aspekte einer vorsorgenden Planung im Alpenraum (LIEB 2005). Um in allen Alpenregionen gleiche Standortvoraussetzungen zu gewährleisten, ist es die Aufgabe einer gesamthaften Alpenpolitik, gleiche Gletscherschutzstandards einzuführen.

Literatur

- Amt der Salzburger Landesregierung/Abt. 7-Raumplanung (1999): Richtlinie Schierschließung. Richtlinien für die Schierschließung im Bundesland Salzburg (= Entwicklungsprogramme und Konzepte H. 1); Salzburg, 10 S.
- Amt der Tiroler Landesregierung/Abt. Raumordnung-Statistik (2000): Seilbahngrundsätze des Landes Tirol 2000-2004 mit Festlegung der Grenzen der Schigebiete in den Tourismusintensivgebieten. Innsbruck, 13 S. + 40 Karten.
- Amt der Tiroler Landesregierung/Abt. Raumordnung-Statistik (2004): Tiroler Seilbahn- und Skigebietsprogramm 2004. Innsbruck, 114 S. + Karte.
- Braumann, C. (1993): Entwicklung der Raumplanung seit 1945. Beispiel Land Salzburg. Wien: Literas-Universitätsverlag, 199 S. + Anh..
- Brugger, J. u. H. Tiefenthaler (2004): Tiroler Gletscher: Ausbauen für den Aufschwung. In: punkt.um (= Infodienst für Umwelt und Nachhaltigkeit), Heft Oktober 2004, S. 3-5.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) - Hrsg. (1999): Gletschervorfelder und alpine Schwemmebenen als Auengebiete. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 305; Bern, 94 S. + Anhänge.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) - Hrsg. (2002): 2. Ergänzung des Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 341; Bern, 143 S.
- Essl, J. (2002): Das innere Pitztal - die Folgen einer ungebremsten Tourismusentwicklung. In: Haßbacher, P. (Red.): Die skitouristische Wachstumsmaschine. 3 Tiroler Täler: 3 Aufschaukelungen - Paznauntal, Pitztal, Zillertal (= Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins - Serie: Alpine Raumordnung Nr. 23); Innsbruck, S. 26-42.
- Gelb, G. (1989): Das Pasterzengebiet in der Obhut des Alpenvereins. In: Oesterreichischer Alpenverein/Verwaltungsausschuss (Hrsg.): Albert-Wirth-Symposium Gamsgrube (Heiligenblut). Tagungsbericht 26.-28.9.1986 in Heiligenblut (= Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins - Serie: Alpine Raumordnung Nr. 2); Innsbruck, S. 97-113.
- Haerberli, W. u. H.J. Zumbühl (2003): Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption. In: Jeanneret, F., D. Wastl-Walter, U. Wiesmann u. M. Schwyn (Hrsg.): Welt der Alpen - Gebirge der Welt. Ressourcen, Akteure, Perspektiven. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag, S. 77-92.
- Hansely, H. u. O. Glanzer (1966): Entwicklungsprogramm Oberes Mölltal. Schriftenreihe für Raumforschung und Raumplanung des Amtes der Kärntner Landesregierung/Abt. Landesplanung Bd. 8; Klagenfurt, 80 S.
- Haßbacher, P. (2003): Schluss mit dem Gletscherschutz? Der Naturschutz hat in den Ötztaler Alpen viel zu verlieren. In: Alpenvereinsjahrbuch 2004 (= Zeitschrift Bd. 128); München-Innsbruck-Bozen, S. 28-35.
- Haßbacher, P. (2004): Gletscherschutz: Fixpunkt der österreichischen Nachhaltigkeitsstrategie in Gefahr! In: Alpenverein (= Mitteilungen des OeAV) 59 (129), H. 2, S. 22-23.
- Haßbacher, P. (2004): Die Gletscher im Fadenkreuz der Seilbahnwirtschaft. In: Zängl, W. u. S. Hamberger (Hrsg.): Gletscher im Treibhaus. Eine fotografische Zeitreise in die alpine Eiswelt. Steinfurt: Tecklenborg Verlag, S. 244-247.
- Haßbacher, P. (2005): Hände weg von den Gletschern! Alpenverein startet Unterschriftenaktion. In: Alpenverein (= Mitteilungen des OeAV) 60 (130), H. 1, S. 33-35.
- Haßbacher, P. u. S. Witty (2004): Gewerbegebiet unterm Gipfelkreuz. Tirol plant massive Skigebietserweiterungen auf Gletschern. In: DAV Panorama (= Mitteilungen des Deutschen Alpenvereins) 56, H. 4, S. 20-23.
- Lieb, G.K. (2005): Konflikte und Gefahren am „Dach“ Österreichs. In: RAUM (= Österreichische Zeitschrift für Raumplanung und Regionalpolitik) H. 57 (Themenschwerpunkt: Gletscher: Die Walfische der Alpen), S. 17-19.
- Maier, F. (1994): Die Waldvegetation an der Dachstein-Nordabdachung (Oberösterreich) - Pflanzenphysiologie, Floristik, Naturschutz. Stapfia Nr. 35; Linz, 117 S. + 1 K.
- Österreichische Bundesregierung (1995): Nationaler Umweltplan. Wien, 324 S.
- Österreichisches Institut für Raumplanung (1975): Entwicklungsprogramm Osttirol. Vorbericht mit vorläufiger Bestandsaufnahme. Wien, 290 S.
- Österreichisches Institut für Raumplanung (1983): Untersuchung raumbezogener Probleme der Fremdenverkehrsentwicklung im Brandnertal. Wien, 215 S.
- Schlosser, H. (2005): „Wir müssen hinauf!“ In: RAUM (= Österreichische Zeitschrift für Raumplanung und Regionalpolitik) H. 57 (Themenschwerpunkt: Gletscher: Die Walfische der Alpen), S. 14-16.
- Schultze, G. (2004): Gletscher als Objekt der Begierde. Ein Blick ins ewige Eis. Abschrift eines Journal Panorama vom 30. August 2004, ORF Ö 1, 18.00 Uhr; Innsbruck, 9 S.
- Sitzungsberichte des Tiroler Landtages zum Gletscherschutz: XIII. Gesetzgebungsperiode, 20. Sitzung am 4. Oktober 2001; XIV. Gesetzgebungsperiode, 6. Sitzung am 12. Mai 2004.
- Trinkl, M. (2005): Klares Nein zur Erschließung weiterer Gletscher in Salzburg. In: NaturLandSalzburg H. 2, S. 23.
- Umweltbundesamt - Hrsg. (1993): Gletscherschigebiete Österreichs. Bestandsaufnahme und chemisch-analytische Untersuchungen. Monographien Bd. 32, Wien, 222 S.
- Wiesflecker, H. (2003): Gletscherschutz in der Alpenregion. Unveröff. Diss. zur Erlangung des akad. Grades Dr. iur. an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Öffentliches Recht; Innsbruck, 118 S.

Mag. Peter Haßbacher
Oesterreichischer Alpenverein
Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz
Wilhelm-Greil-Straße 15
A-6010 Innsbruck
Tel. +43/(0)512/59 547-27
E-mail: peter.hasslacher@alpenverein.at
www.alpenverein.at

Klimawandel und (Gletscher-)Tourismus

Hans Elsasser & Rolf Bürki

„Oder sie rutschen über die nur angezuckerten Felder und ruinieren sich die neue Schiausrüstung schon am ersten Tag. Da haben ihnen die Gastrologen gern die Geschichte von der Klimaverschiebung serviert. Weil so ist der Mensch, ein großes Unglück wie die Zerstörung der Erde verkraftet er viel leichter als ein kleines Unglück wie die Zerstörung der neuen Schi.“

... und sie haben geduldig auf den Jänner gewartet, weil es im Jänner sicher schneit, oft so viel, dass man wegen der Lawinen wieder nicht fahren kann.“

Wolf Haas aus „Auferstehung der Toten“

1. Klima und Tourismus

Klima und Wetter sind wichtige Faktoren des natürlichen *Angebotes* im Tourismus. Klima und Wetter sind somit einerseits tourismusrelevante Ressourcen, andererseits aber auch limitierende Faktoren. Vereinfacht kann festgehalten werden, dass das Klima darüber bestimmt, ob ein bestimmtes Gebiet für eine bestimmte touristische Aktivität in Frage kommt, das Wetter hingegen, ob diese Aktivität dann auch tatsächlich ausgeübt wird.

Klima und Wetter beeinflussen aber nicht nur das touristische Angebot, sondern auch die touristische *Nachfrage*. Wetter und Klima im Zielgebiet sind Pullfaktoren, im Herkunftsgebiet der Touristen Pushfaktoren der touristischen Nachfrage.

Dabei spielt die *Wahrnehmung* eine wichtige Rolle. Das Klima bestimmt nicht die Handlungen von Akteuren, sondern es ist ein Faktor unter vielen, die bei Handlungen einen Rahmen setzen und je nach Situation unterschiedlich stark gewichtet werden. Deshalb ist es wichtig, dass bei Untersuchungen über die Auswirkungen des Klimas zwischen dem physischen Klima und dem sozialen Konstrukt Klima unterschieden wird.

Klima und Wetter beeinflussen den Tourismus stark. Es muss aber vor einem *Klimadeterminismus* gewarnt werden. Wirtschaftliche und gesellschaftliche Änderungen, wie beispielsweise demographische

Veränderungen, die Globalisierung oder der Wertewandel mit entsprechenden Veränderungen im Reiseverhalten, aber auch Moden spielen neben dem Klima eine ganz entscheidende Rolle, wie heutige und künftige Angebots- und Nachfragestrukturen im Tourismus aussehen werden.

2. Klimaänderung und Tourismus

Es ist unbestritten, dass der *Tourismus* - neben der Landwirtschaft - zu denjenigen Wirtschaftszweigen zählt, die von einer Klimaänderung besonders *stark betroffen* sein werden. Die Klimaänderung wird innerhalb des Tourismus zu Veränderungen führen, einerseits bei der Bedeutung unterschiedlicher Tourismusformen, andererseits bei der Attraktivität verschiedener touristischer Destinationen. Als besonders sensitiv gegenüber einer Klimaänderung gelten Tourismusformen und Destinationen, deren Anziehungskraft stark auf natürlichen Angebotsfaktoren beruht. Dazu zählen die Gebirgsräume und die „klassischen“ Outdoor-Wintersportaktivitäten, insbesondere das Skifahren.

Es erstaunt deshalb nicht, dass sich die Forschung zu

„Snow-Farming“, „Gletschertuning“, „Pflasterlipolitik“ Um den Schilauflauf auf den Gletschern so lang wie möglich zu sichern, wird einerseits Schnee künstlich erzeugt und andererseits versucht, die Abschmelzung zu bremsen. Abdeckfolien und Vliese sollen die Ablation an neuralgischen Stellen verzögern (Brunnkogel Ferner, Pitztal).



diesem Thema in den Alpenländern schwergewichtig mit dem *Wintertourismus* auseinandersetzt. Die Resultate der bisherigen Forschungsarbeiten lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Eine Klimaerwärmung führt zu einem *Anstieg der Höhengrenze der Schneesicherheit*. Die Zahl der schneesicheren Schigebiete wird sich in Zukunft verringern. Davon besonders betroffen sind die touristischen Transportanlagen, die eigentlichen Motoren der touristischen Entwicklung im Alpenraum. Die Seilbahnen sind mit ihrem Kerngeschäft, dem Transport von Wintersportlern, ein zentrales Element der touristischen Wertschöpfung im Alpenraum. Es wird sich, zumindest mittelfristig, eine "Zweiklassen-Gesellschaft" der Schigebiete herausbilden: Auf der einen Seite die hoch gelegenen Destinationen, die aufgrund der weiterhin großen Nachfrage, die u.a. darauf zurückzuführen ist, dass in tiefer gelegenen Gebieten zu wenig Schnee liegt, in der Lage sind ihre Skigebiete (in die Höhe) auszubauen, ihre Infrastrukturen und ihr Bettenangebot zu modernisieren und so international konkurrenzfähig zu bleiben. Auf der anderen Seite tiefer gelegene Wintersportorte, die bereits heute nur über eine marginale klimatische Voraussetzung verfügen. Aufgrund der verkürzten Saisondauer werden diese Orte mit großen wirtschaftlichen Problemen zu kämpfen haben, und es besteht die Gefahr, dass sie über kurz oder lang aus dem Wintertourismusmarkt ausscheiden.

Die Fokussierung der bisherigen Untersuchungen auf den Wintertourismus darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass auch die *Sommersaison* von einer Klimaänderung betroffen ist: Eine Klimaerwärmung führt zu einer Verlängerung der Sommersaison und damit - zumindest theoretisch - zu einer besseren Auslastung der entsprechenden Infrastrukturen, wie Freibäder, Camping- und Caravanning-Plätzen oder Golfanlagen; theoretisch deshalb, weil Regelungen der Ferien von Schulen und Betrieben von größerem Einfluss auf die Nutzungsdauer sein dürften als die Klimaerwärmung.

Eine Klimaänderung führt nicht nur zu erhöhten Temperaturen, sondern auch zu *Änderungen bei den Niederschlagsverhältnissen* im Sommer und im Winter. Als Folge der Klimaerwärmung ändern sich ebenfalls die Verhältnisse beim Schmelzwasser von Gletschern. Niederschlag und Schmelzwasser wiederum beeinflussen die Wasserregime von Bächen, Flüssen und Seen. Davon betroffen sind wasserge-

bundene Freizeitaktivitäten, wie Riverrafting, Canyoning, aber auch (Sport-)Fischen. Gemäß den Klimaszenarien ist in weiten Gebieten des Alpenraums im Sommerhalbjahr mit geringeren Niederschlägen zu rechnen, d.h. Wasser könnte verstärkt zu einem Engpassfaktor der touristischen Entwicklung werden. Durch das Auftauen des Permafrostes kann sich die Gefahr von Murgängen und Steinschlägen erhöhen, d.h. das Gefährdungspotenzial für das Bergsteigen nimmt in bestimmten Regionen und auf bestimmten Routen zu. Murgänge und Überschwemmungen bilden aber auch ein Gefährdungspotenzial für touristische Infrastrukturen und Beherbergungseinrichtungen. Als Folge des Rückzugs, ja des Verschwindens von Gletschern wird sich das Landschaftsbild wesentlich verändern. Damit geht ein



wichtiges Angebotselement für den Sommertourismus verloren. Auch die Verschiebung von Vegetationsgrenzen und -zonen beeinflusst das Landschaftsbild. Von noch größerem Einfluss auf das Landschaftsbild als die Klima bedingten Veränderungen in der Vegetation dürfte aber die mögliche Aufgabe der Alpwirtschaft als Folge wirtschaftlicher und wirtschaftspolitischer Entwicklungen sein.

Bei einer Beurteilung der Risiken und Chancen eines Klimawandels für den Tourismus im alpinen Raum gilt es aber auch die *Situation in Regionen, die in Konkurrenz zum Alpenraum stehen*, zu berücksichtigen. Im Sommer besteht schon seit langem u.a. eine Konkurrenz zwischen dem Alpenraum und dem Mittelmeerraum (Ferien in den Bergen vs. Ferien am Meer). Gemäß den Klimaszenarien wird die Zahl der Hitzewellen, der sehr heißen Tage im Mittelmeer-

Berg- und Felsstürze machen das Bergsteigen durch das Auftauen des Permafrostes im Hochgebirge immer gefährlicher.

raum zunehmen. Die Erfahrungen mit dem Hitzesommer 2003 zeigten, dass von solchen klimatischen Extremereignissen insbesondere ältere Personen, Kinder und gesundheitlich geschwächte Personen betroffen sind. Es ist denkbar, dass als Folge einer solchen Entwicklung der Mittelmeerraum im Sommer für bestimmte Touristenkategorien an Attraktivität verlieren wird. Von einem Rückgang des Sommertourismus im Mittelmeerraum könnte der Sommertourismus in Gebirgsregionen, z.B. im Alpenraum, profitieren, aber natürlich auch nördliche Destinationen, z.B. Badeorte an der Nord- und Ostsee, oder Schottland und Skandinavien. Wenn die touristischen Anbieter im Alpenraum von einer solchen Entwicklung profitieren wollen, bedeutet dies, dass sie nicht einfach abwarten dürfen und hoffen, die Touristenströme im Sommer würden sich zu ihren Gunsten verschieben. Vielmehr müssten bereits heute Anstrengungen, u.a. in der Werbung und im Marketing, unternommen werden, um die Touristen in die kühlen Alpen zu bringen. In der *Wintersaison* sieht die Situation anders aus: Hier steht der Alpenraum sowohl mit anderen für Schneesportaktivitäten geeigneten (Gebirgs-)Räumen als auch mit Badedestinationen im Süden in Konkurrenz. Im Alpen-

muss in jenen Regionen eine touristische Infrastruktur i.w.S. aufgebaut werden, die konkurrenzfähig zu derjenigen im alpinen Raum ist. Nicht zu unterschätzen sind ferner die gesundheitlichen Risiken von Aufenthalt und Sport in großen Höhen, insbesondere für nicht besonders gut trainierte "Durchschnittstouristen". Viel bedeutsamer dürfte auch in Zukunft die Konkurrenz durch Feriendestinationen im Süden (Winter-Badeferien) sein. Wie sich diese Konkurrenzsituation in Zukunft entwickeln wird, dürfte aber nicht so sehr durch die Klimaänderung, sondern durch andere Faktoren bestimmt werden: Stellenwert des Schneesports in der Gesellschaft, Alternative Freizeit- und Sportmöglichkeiten, Kosten für Schneesportferien und Badeferien im Vergleich und nicht zuletzt eine mögliche Besteuerung von Flugbenzin auf Grund einer aktiveren Klima(schutz)politik.

3. Strategien und Maßnahmen

Die Klimaänderung bildet für den Tourismus eine große Herausforderung. Im Zentrum der Anstrengungen, die von den Tourismusverantwortlichen ergriffen werden, stehen Anpassungsstrategien. Diese können - dargestellt am Beispiel des Schitourismus - folgendermaßen gegliedert werden:



Ob mit der Klimaerwärmung der Tourismus in noch höhere Regionen außerhalb der Alpen ausweicht (z.B. Himalaya), ist aufgrund der fehlenden Infrastrukturen mittelfristig unrealistisch.

raum selbst erfolgt eine Verlagerung der Schneesportaktivitäten in hoch gelegene Regionen. Die Befürchtung, dass eine bedeutende Verlagerung in noch höher gelegene Ge-

birgsräume außerhalb der Alpen, z.B. Kaukasus oder Himalaya stattfinden wird, dürfte aus folgenden Gründen mittelfristig eher unbegründet sein: Zuerst

Anpassungsstrategien

1. Maßnahmen zur Weiterführung des Schitourismus

- 1.1 Künstliche Beschneigung
- 1.2 Geländekorrekturen
- 1.3 Erschließung höher gelegener Gebiete
- 1.4 Zusammenarbeit

2. Finanzielle Unterstützung

- 2.1 Einmalige Beiträge
- 2.2 Jährliche Beiträge

3. Entwicklung von Alternativen zum Schitourismus

- 3.1 Schnee unabhängige Winter-Angebote
- 3.2 Ganzjahres-Tourismus

4. Fatalismus

- 4.1 "Business as usual"
- 4.2 Aufgabe des Schitourismus

Im Folgenden sollen nun einige Angaben zu den genannten Maßnahmen gemacht werden:

Die wohl am häufigsten genannte und "populärste" Maßnahme ist die *künstliche Beschneigung*. Eine Kunstschneeanlage benötigt aufwändige Ressourcen und Infrastrukturen, z.B. im Durchschnitt 500 Liter Wasser und 1 - 9 kWh elektrische Energie pro Kubikmeter Kunstschnee. In der Schweiz wird mit folgenden Kosten gerechnet: Die Investitionskosten für 1 km Beschneigungsanlage belaufen sich auf rund 1 Mio. Franken (Fr)¹,

die jährlichen Betriebskosten betragen pro Kilometer Skipiste 40.000 Fr. für Präparierung plus 20 - 30.000 Fr. für Beschneigung. Die beiden Engpassfaktoren bei der künstlichen Beschneigung sind das Geld und, vor dem Hintergrund, dass in Zukunft die Sommer trockener sein werden, das Wasser.

Geländekorrekturen können sowohl klein- als auch großflächige Ausmaße annehmen. Wichtige Ziele solcher Eingriffe sind die Herabsetzung der minimal erforderlichen Schneehöhen für den Schibetrieb, die Erleichterung des Einsatzes von Pistenfahrzeugen und der künstlichen Beschneigung und damit eine Verbesserung der Pistenverhältnisse in schneearmen Wintern. Planierte Pisten können je nach Intensität der Baumaßnahmen verändertes Abflussverhalten, veränderte Bodenstruktur und als Folge davon veränderte Pflanzendecke sowie veränderte Fauna im Boden und in der Pflanzendecke aufweisen. Nicht zuletzt verändern sie aber auch das Landschaftsbild. Aus ökologischer Sicht und im Interesse des Sommertourismus sind diese Eingriffe auf das absolute Minimum zu beschränken. Das Schifahren hat sich dem Gelände anzupassen und nicht umgekehrt.

Die *Erschließung höher gelegener Gebiete* kann eine erhöhte Schneesicherheit, eine bessere Schneequalität und den Reiz hochalpiner Landschaften bieten. Eine solche Strategie ist natürlich nur möglich, wenn aufgrund der Topographie überhaupt die Erweiterung eines Schigebietes in die Höhe möglich ist. Die Strategie "touristische Hochgebirgsererschließung" ist mit Risiken verbunden. Die Erschließung hoch gelegener Gebiete ist mit einem großen technischen Aufwand verbunden und dementsprechend kostspielig, nicht zuletzt in Gebieten mit Permafrost-Vorkommen. Hoch gelegene Gebiete sind ökologisch sehr sensible Räume. Entscheidend für den Schibetrieb sind neben der Schneesicherheit auch



Schneekanonen und Beschneigungsteiche gehören mittlerweile zum Standard eines Schigebietes. Die Kosten dafür sind enorm.

die Wetterbedingungen. Wind, Kälte, Nebel führen oft bei hoch gelegenen Seilbahnen zu Betriebsunterbrechungen und zur Sperrung von Schipisten aus Sicherheitsgründen. Hoch gelegene Schigebiete werden als Folge vermehrter Winterniederschläge, die auch in einer wärmeren Zukunft dort als Schnee fallen, verstärkt durch Lawinen gefährdet sein. Zudem werden zeitaufwändige An- und Rückfahrten per Seilbahn zu den Hochgebirgspisten von den Touristen wenig geschätzt.

Unabhängig von der Klimaänderung steigt der Zwang zur *Zusammenarbeit* innerhalb der touristischen Anbieter. Dabei ist sowohl an die horizontale Zusammenarbeit zwischen Bergbahnunternehmen, zwischen einzelnen Schigebieten und zwischen verschiedenen Destinationen als auch an die vertikale Zusammenarbeit innerhalb der touristischen Dienstleistungskette zwischen Hotellerie, Bergbahnen, Sportartikelverleihfirmen usw. zu denken. Ferien bedeuten eine Kombination von Unterkunft, Verpflegung und Schipass. Der Tourist verlangt heute vermehrt entsprechende Paket- bzw. Pauschalarrangements. Zusammenarbeit hat somit nicht allein zum Ziel Synergien auszunützen, Rationalisierungseffekte zu erzielen und Kosten zu senken, sondern auch attraktive Angebote für die Gäste zu entwickeln. Schon etwas älter ist der Vorschlag, dass finanzstärkere Bahnen in den Alpen mit kleineren Unternehmen im voralpinen Raum kooperieren. Vor dem Hintergrund der abnehmenden Zahl an Schifahrern, nicht zuletzt bei Jugendlichen, und wenn man weiß, wie wichtig die kleineren Schigebiete für das Erlernen des Skifahrens sind, ist diese Kooperations-Idee weiterhin sehr aktuell, um dem Schifahren den Nachwuchs zu sichern.

¹ 1 Euro = 1,54 Schweizer Franken

Als Folge der Klimaänderung haben die Forderungen nach *finanzieller Unterstützung* zugenommen. Dabei geht es meist um die Förderung nach Unterstützung von Bergbahnunternehmen, die als Folge des durch die Klimaänderung bzw. schneeärmer Winter verstärkten Strukturwandels in Bedrängnis geraten sind. Die Expansionsstrategie der Seilbahnunternehmen (Erhöhung der Transportkapazitäten, Steigerung der Frequenzen, Erhöhung des Komforts, Erweiterung der Schigebiete, künstliche Beschneigung) war, ist und wird auch in Zukunft mit hohen Investitionskosten verbunden sein. In den letzten fünf Jahren tätigte die schweizerische Seilbahnwirtschaft Investitionen

von über 600 Mio. Fr.; die notwendigen Investitionen in Ersatzanlagen betragen mehr als 1.400 Mio. Fr. Die Argumentation lautet oft, dass es sich bei Bergbahnen und Beschneiungsanlagen um einen Service public handle, der gleich wie beispielsweise ein kommunales Hallenbad von der öffentlichen Hand zu unterstützen sei. Mit einer volks- statt regionalwirtschaftlichen Argumentation sollten die Subventionen (wenn überhaupt) eher in die wirtschaftlich rentablen Bahnen fließen, statt das Überangebot im Bereich der Seilbahnkapazitäten künstlich zu erhalten. Dies fördert bloß, dass heute mit öffentlicher Unterstützung die Schilifruinen von morgen gebaut werden.

Der Tourismus ist in vielen alpinen Regionen die Leitindustrie. *Alternativen* - im eigentlichen Sinne des Wortes - gibt es nicht. Aufgrund seiner hohen Wertschöpfung kommt dem Wintertourismus innerhalb des Tourismus eine besondere Bedeutung zu. Innerhalb des Wintertourismus spielt der alpine Schitourismus eine wichtige Rolle. Zu dieser Form des Tourismus gibt es zahlreiche Alternativen: Schi-Langlauf, Snowboarden, Schneeschuh-Laufen, Schitouren, Schlitteln, Winterwandern, usw. All diesen Alternativen gemeinsam ist, dass sie auf das Vorhandensein von Schnee und auf ein winterliches Ambiente angewiesen sind und dass sie geringere Umsätze generieren als das Alpenschifahren. Sie sehen sich bei einer Klimaänderung und bei Schneearmut mit ähnlichen Problemen konfrontiert wie der alpine Schitourismus. Fehlender Schnee kann nicht durch „Wintersonne/Nebelfreiheit“ ersetzt werden. Trotzdem müssen die Anstrengungen zur Verringerung der Schneeabhängigkeit unterstützt werden.



Zu denken ist hier an den Seminar- und Kongresstourismus sowie an den Wellness- und Gesundheitstourismus im Winter. Dabei muss allerdings das Nachfragepotenzial gründlich und seriös abgeklärt werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Winter- und Schneeabhängigkeit zu reduzieren, besteht in der Förderung der Sommersaison unter Einbezug der Zwischensaison im Frühsommer und Herbst, d.h. den Aufbau eines *Vier-Jahreszeiten-Tourismus*. In diesem Zusammenhang muss auf die Bergbahnen hingewiesen werden. In der Schweiz beförderten die Bergbahnen 1997 327,1 Mio. Personen, davon 89 % im Winter. Bei den Luftseilbahnen und Schiliften, welche 1997 einen Ertrag von 639,3 Mio. Fr. erwirtschafteten (= 79 % des Ertrags aller Bergbahnen) entfielen 83 % auf den Winter. Für zahlreiche Bergbahnen ist das Sommergeschäft von untergeordneter Bedeutung und teilweise defizitär. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wäre es oft zweckmäßig, wenn sie ihren Betrieb im Sommer einstellen würden. Aus regionalwirtschaftlicher Sicht wäre dies allerdings verhängnisvoll und hätte auch negative Auswirkungen auf die Wintersaison.

Es gibt natürlich auch die Strategie, das Geschäft wie bisher weiterzuführen und allenfalls später, beispielsweise im Zusammenhang mit einer Nachfolgeregelung, bei einem großen Investitionsentscheid oder bei Bahnen bei einer Konzessionserneuerung aufzugeben. Als Beispiel für die *Aufgabe eines Schigebietes* kann das Schigebiet Girlen im Obertoggenburg (Kt. St. Gallen) mit drei Schiliften auf einer Höhenlage von 654 - 1.301 m über dem Meer genannt

Schitouren - mittlerweile eine beliebte Alternative zum alpinen Schitourismus.

werden: 1970 Gründungsjahr/1977 und 1981 Schi-Weltcuprennen (Riesenslalom)/1996 Konkurs/1999 Abbruch der Anlagen. Der Rückbau von tief gelegenen Schigebieten wird in Zukunft ein Thema sein, mit dem sich der Tourismus, die Raumplanung und die Regionalwirtschaft beschäftigen müssen. Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Aufgabe eines Seilbahn-, eines Schiliftunternehmens genügend Mittel zur Verfügung stehen, um nicht mehr benötigte Gebäude und Anlagen abzurechen und notwendige Rekultivierungsmaßnahmen zu ergreifen.

Im Zentrum der Strategie- und Maßnahmendiskussionen beim Thema "Klimaänderung und Tourismus" stehen Anpassungsstrategien und -maßnahmen. Die Tourismusverantwortlichen müssen sich aber in verstärktem Maße mit Vermeidungsstrategien auseinandersetzen. Der Begriff "Vermeidungsstrategien" darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine Klimaänderung nicht vermieden, sondern höchstens reduziert und verlangsamt werden kann:

Vermeidungsstrategie

1. Reduktion der tourismusbedingten Emission klimarelevanter Gase

- 1.1 Optimierung des Energieeinsatzes in Tourismusbetrieben
- 1.2 Maßnahmen beim Tourismusverkehr

2. Einsatz des Tourismus für eine langfristige Klima- und Umweltpolitik

Der Tourismus als *Mitverursacher des anthropogenen Treibhauseffektes* muss einen Beitrag zur Verringerung der Kohlendioxid- und anderer Emissionen leisten. Und zwar nicht nur auf der lokalen und regionalen Ebene, sondern auch auf der internationalen, d.h. beim Flugverkehr. Solche Maßnahmen müssen gegenüber der Öffentlichkeit und den Touristen kommuniziert werden, um zu zeigen, dass der Tourismus von einer Klimaänderung betroffen aber auch bereit ist, Vermeidungsmaßnahmen zu ergreifen, die, beispielsweise in Form höherer Transportkosten, Anbietern und Nachfragern "weh tun", die aber notwendig sind, um ein nachhaltiges Überleben des Tourismus zu sichern. Dazu zählt auch, dass sich die verschiedenen touristischen Organisationen auf den unterschiedlichen politischen Ebenen für eine langfristige Klima- und Umweltpolitik einsetzen. Es ist erstaunlich, ja geradezu erschreckend, wie gering der bisherige Einsatz angesichts der Bedeutung der Klimaänderung für die Zukunft des Tourismus war.

4. Gletschertourismus

In den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden in der Schweiz die Gletscher touristisch erschlossen. Man versprach sich von der Gletschererschließung eine Attraktivitätssteigerung alpiner Regionen für den damals rückläufigen Sommertourismus. Das *Sommerschifahren* kam langsam in Mode und erlebte einen Aufschwung; mit der Zeit wurden die Gletscher auch in den Winterbetrieb integriert. Ende der achtziger und zu Beginn der neunziger Jahre wurde der Sommerschibetrieb immer unbedeutender und die Gletscher wurden wichtig als *Garanten der Schneesicherheit im Winter* und *für die Sicherung eines frühen Saisonstarts* im Herbst. Ein früher Saisonstart ist nicht nur für das betreffende Schigebiet wichtig, sondern hat eine wichtige Signalwirkung für den Wintersport insgesamt sowie für die damit verbundene Sportartikelbranche und wird deshalb auch entsprechend vermarktet. Eine Verlängerung der Schisaison im Frühjahr ist weniger bedeutend, weil der Schisport dann stark durch Schnee unabhängige Sport- und Freizeitaktivitäten konkurrenziert wird.

In der ersten Hälfte der neunziger Jahre präsentierte sich die Situation folgendermaßen: Die Erwartungen, die ins Sommerschifahren gesetzt wurden, erfüllten sich nur noch in den beiden größten und attraktivsten Gletscherschigebieten von Saas Fee und Zermatt. In Crans-Montana, Verbier, Les Diablerets und Diavolezza war wegen der immer stärker werdenden Ausaperung nur noch ein reduzierter Sommerschibetrieb möglich. Aufgegeben wurde seither der Sommer-Schibetrieb in den Gletscherschigebieten Corvatsch, Laax und Engelberg. Heute wird nur noch in den Gletscherschigebieten von Saas Fee und Zermatt ganzjährig Schigefahren. Die rückläufigen Sommerfrequenzen dürfen aber nicht allein auf die Verschlechterung der naturräumlichen Situation zurückgeführt werden, sondern sind auch eine Folge, dass das Sommerschifahren durch andere "trendige" Sommersportarten abgelöst wurde und aus der Mode kam. Damit verbunden war die *Konzentration des Sommerschifahrens* auf die beiden Walliser Destinationen Saas Fee und Zermatt. Gleichzeitig setzte eine Konzentration des Gästesegments auf internationale Spitzensportler ein.

In den schneearmen Wintern Ende der achtziger Jahre konnte die *Rettungsankerfunktion der Gletscherschilifte* gut nachgewiesen werden. Insbesondere in Engelberg, Crans-Montana, Les Diablerets, Verbier und Laax verzeichneten sie markante Frequenzsteigerungen, die auf die Schneearmut im übrigen Schigebiet und/oder auf Schneearmut in benachbarten Schiregionen ohne Gletscher zurückzu-

führen sind. Wintersportorte mit einem Anschluss an ein Gletscherschigebiet verfügen über einen Wettbewerbsvorteil.

In einer 2003 veröffentlichten Studie über Erweiterungs- und Neuerschließungsprojekte von Schigebieten in den Schweizer Alpen wurden 113 *Ideen und Projekte* gezählt, davon 18 in der Kategorie "Hochgebirgerschließung" mit Schwerpunkten in den Kantonen Wallis und Graubünden. Eine Vielzahl dieser Projekte entpuppte sich als Utopien, die auch an Rentabilitäts- und Finanzierungsfragen scheiterten.

Schlagzeilen machte im Frühjahr 2005 das Schigebiet Gemsstock bei Andermatt (Kt. Uri). Die Schiabfahrt von der Bergstation der Gemsstock-Bahn (2.961 m) führt über den *Gurschengletscher*. In den letzten 15 Jahren hat sich dieser Gletscher um 20 Meter abgesenkt. Ohne Kunstbauten ist es zu Beginn der Schisaison Ende Oktober/Anfang November nicht mehr möglich, die Pisten auf dem abgesunkenen Gletscher zu erreichen. Bislang behalf man sich mit einer eigens aufgebauten Rampe. Der Arbeitseinsatz und der Maschinenaufwand waren aber groß; eine künstliche Beschneigung ist nicht möglich, weil Wasser und Strom fehlen. Im Mai, nach Ende der Wintersaison wurden nun 2.500 m² des Gurschengletschers mit einer speziellen, weißen Folie aus Polyester und Polypropylen abgedeckt, welche die Schneeschicht vor Wärmeinstrahlung, UV-Strahlen und Regen schützt. Im Herbst werden diese Folien wieder entfernt und eingelagert, um im darauf folgenden Frühjahr wieder eingesetzt zu werden. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht mag eine solche Lösung durchaus Sinn machen. Sie zeigt aber auch, wie aufwändig Maßnahmen sind, die allenfalls kurzzeitig Symptome zu lindern vermögen. Solche punktuellen Schutzmaßnahmen werden auch bei weiteren für den Schitourismus wichtigen Gletscherpassagen diskutiert und teilweise angewandt.

Gletschertourismus ist jedoch mehr als Gletscherschitourismus. Die Gletscher bilden einen ganz *wesentlichen Bestandteil des natürlichen touristischen Angebotes* im Hochgebirge. Sie bilden für den Tourismus attraktive Landschaften. Hochrentable Bahnen führen ihre Passagiere nicht auf, sondern zu den Gletschern, z.B. auf das Jungfraujoch. Das Wegschmelzen einzelner (kleinerer) Gletscher führt zu einer Verarmung dieses Angebotes. Gletscher bieten den Touristen die Möglichkeit Eis und Schnee hautnah erleben zu können. Dies ist insbesondere für



Eisgrotte im Murtel-Corvatsch Eisgrat nahe der Bergstation der Corvatschbahn (3.300 m). Die Folienbahnen dienen dazu, die Eisschmelze zu reduzieren und damit ein Durchschmelzen der Grottendecke im extrem warmen Sommer 2003 zu verhindern.

ausländische Gäste aus Ländern und Regionen ohne Schnee und Eis eine sehr große Attraktion, z.B. Eishöhlen, Eisgrotten. Das Abschmelzen der Gletscher führt dazu, dass der direkte Zugang zu den Gletschern und das Begehen der Gletscher erschwert werden. Mit dem Gletscherschwund werden auch die Wasserreservoirs verschwinden. Dieses Problem ist wesentlich größer als die Auswirkungen auf den Tourismus.

Das Phänomen *Klimawandel* ist schwierig *sichtbar zu machen*. Gletscher und deren Vorfelder eignen sich bestens zur Veranschaulichung der Klimaerwärmung. Es existieren bereits auch entsprechende Lehrpfade (z.B. Morteratschgletscher im Engadin). Die Gletscher können so einen Beitrag zum besseren Verständnis der Klimaänderung leisten und Touristen sensibilisieren, sich mit den Ursachen und Folgen der Klimaänderung auseinander zu setzen.

5. Schlussbemerkungen

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Tourismus im Allgemeinen und auf den Alpentourismus im Speziellen sind beträchtlich. Die Touristiker sind sich dessen bewusst und können sich auf diese Veränderungen einstellen. Allerdings beschränken sich die bisherigen Kenntnisse vor allem auf Auswirkungen und Strategien für den Wintertourismus. Die Auswirkungen auf den Sommertourismus sind noch kaum untersucht. Auch wenn diese im Vergleich zum Wintertourismus als geringer einzuschätzen sind, sollten diese genauer abgeklärt werden, weil sich hier möglicherweise *nicht nur Risiken, sondern auch Chancen für den Tourismus* und damit für die Regio-

nalentwicklung im alpinen Raum ergeben.

Aus ureigenstem Interesse sollte der Tourismus daran interessiert sein, dass die transdisziplinäre Forschung in diesem Gebiet intensiviert wird und dass die Forschungsergebnisse in der Praxis umgesetzt werden. Die Klimaänderung ist eine der großen Herausforderungen für den Tourismus und den Alpenraum in den nächsten Jahrzehnten. Gerade bei den Gletschern manifestiert sich die Klimaänderung augenfällig, und die Folgen im Tourismus sind beträchtlich. Aber die Klimaänderung hat nicht allein Auswirkungen auf den Tourismus, sondern auf das gesamte Umwelt- und sozioökonomische System.

Literatur (Auswahl)

- Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus - Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in der Schweiz. Schlussbericht im Rahmen des NFP 31 "Klimaänderung und Naturkatastrophen". vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Abegg, B., U. König & M. Maisch (1994): Klimaänderung und Gletscherschitourismus. In: Geographica Helvetica Nr. 3, S. 103-114.
- Bürki, R. (2000): Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft NF Heft 6. St. Gallen.
- Deutscher Skiverband - Hrsg. (2004): DSV-Atlas Ski Winter 2005.
- Elsasser, H. & R. Bürki (2002). Climate Change as a threat to tourism in the Alps. In: Climate Research Vol. 20, p. 253-257.
- Hall, C. M. and J. Higham - Eds. (2005): Tourism, Recreation and Climate Change. Aspects of Tourism 22. Channel View Publications, Clevedon, Buffalo, Toronto.
- König, U. (1994): Entwicklung und Zukunft des Gletscherschitourismus in der Schweiz - Aufstieg, Fall und Wiederaufstieg? Wirtschaftsgeographie und Raumplanung Vol 19, Geographisches Institut Universität Zürich.
- Mathis, P., D. Siegrist & R. Kessler (2003): Neue Skigebiete in der Schweiz? Planungsstand und Finanzierung von touristischen Neuerschliessungen unter besonderer Berücksichtigung der Kantone. Bristol-Schriftenreihe Bd. 10. Haupt-Verlag, Bern.
- Nöthiger, C. (2003): Naturgefahren und Tourismus in den Alpen - Untersucht am Lawinenwinter 1999 in der Schweiz. WSL, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos.
- Pro natura - pro ski - Hrsg. (2003): Auditing in Skigebieten - Leitfaden zur ökologischen Aufwertung. o.O.
- Richard, F. (2005): Bloss touristische Nebenschauplätze. In: hotel + tourismus revue Nr. 32, S. 14.

Zusammenfassung

Das Klima ist ein wichtiger Bestandteil des natürlichen Angebotes im Tourismus. Der Tourismus ist von der Klimaänderung stark betroffen. Die bisherigen Untersuchungen in den Alpenländern setzen sich schwergewichtig mit den Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wintertourismus und insbesondere das alpine Schifahren auseinander. Der Klimawandel führt zu einer "Zweiklassen-Gesellschaft" bei den alpinen Schigebieten: Einerseits hoch gelegene und schneesichere international konkurrenzfähige Top-Destinationen und andererseits kleinere, tiefer gelegene Wintersportorte, die mit großen wirtschaftlichen Problemen zu kämpfen haben. Bei den Maßnahmen stehen Anpassungen im Vordergrund. Der Tourismus als Mitverursacher des anthropogenen Treibhauseffektes leistet vorläufig noch zu geringe Beiträge bei Vermeidungsstrategien. Nur noch an wenigen Orten bildet der Gletscherschitourismus die Grundlage für einen ganzjährigen Schibetrieb. Die Gletscher sind aber wichtige Garantien der Schneesicherheit im Winter und für einen frühen Saisonstart. Das weitere Abschmelzen der Gletscher auf Grund der Klimaerwärmung gefährdet diese für den modernen Wintertourismus zentrale Funktion. Die Gletscher bilden einen wesentlichen Bestandteil des natürlichen touristischen Angebotes. Ihr sichtbares Wegschmelzen trägt zur Sensibilisierung, nicht nur der Touristen, bezüglich von Problemen der Klimaänderung und ihrer Folgen bei.

Prof. Dr. Hans Elsasser

Geographisches Institut

Universität Zürich

Winterthurerstraße 190

CH-8057 Zürich

Tel. +41/(0)1/635 51 80-81

E-mail: elsasser@geo.unizh.ch

www.geo.unizh.ch

Dr. Rolf Bürki

Pädagogische Hochschule St. Gallen

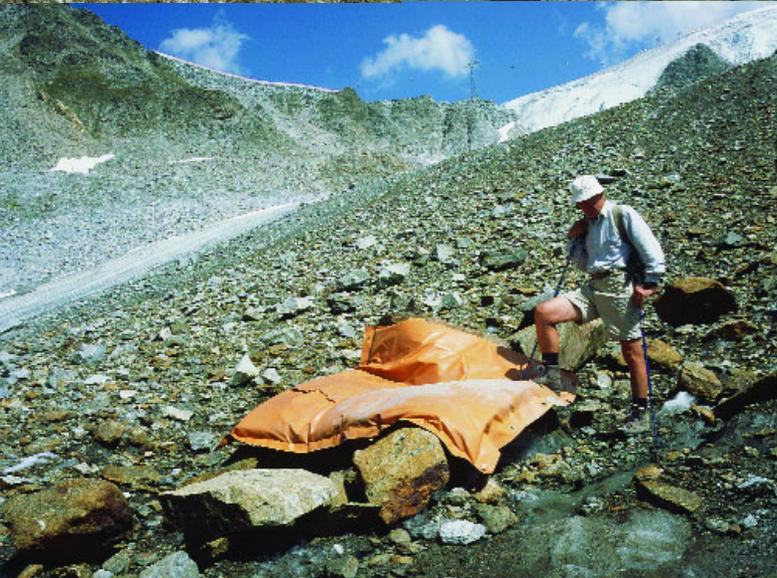
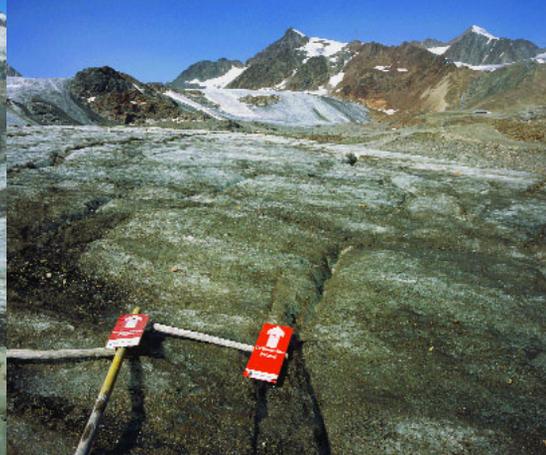
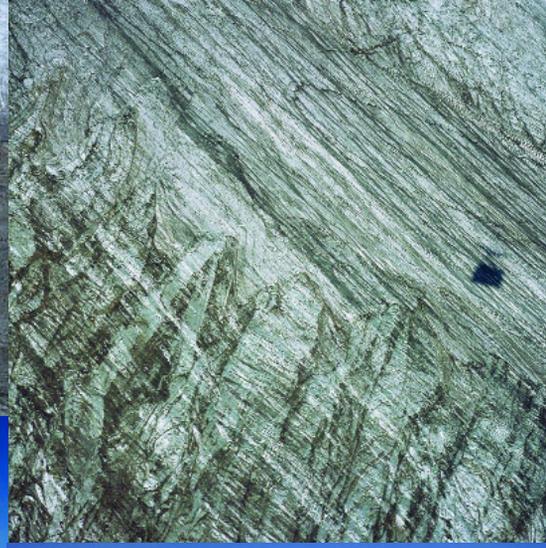
Notkerstraße 27

CH-9000 St. Gallen

E-mail: rolf.buerki@unisg.ch

Tel. +41/(0)71/243 94 61

www.phs.unisg.ch



Naturphänomen Gletscher

Heinz Slupetzky

Obwohl Eis ein Festkörper ist, sind Gletscher in ständiger Bewegung, wenn auch sehr langsam. Ob Gletscher zurück schmelzen und kürzer werden oder vorstoßen und an Länge zunehmen, kontinuierlich wird das Eis durch die Schwerkraft abwärts bewegt. Unter dem Gewicht der Eismassen verformt sich das Eis, es wird „plastisch“; in einem gewissen Ausmaß gleitet der Gletscher auch auf dem Untergrund. Zusammen ergibt dies das ständige „Fließen“ des Gletschers. Fließt der Gletscher in einem flachen Bett, können sich die Kristalle im Inneren langsam zähflüssig deformieren und den ständig ändernden Druckverhältnissen anpassen. Die größte Verformung geht am Gletscherbett vor sich. Wenn das Gelände steil ist, fließt das Eis rascher, zu rasch, um den Eiskristallen die Zeit zu geben, sich „anzupassen“; die Zugkräfte werden zu groß, das Eis reagiert nun wie ein starrer Körper. Es reißen Gletscher spalten auf. In einem Eisbruch entsteht ein Gewirr von Spalten und eine Destabilisierung des Eiskörpers, er zerbricht in Eistürme (Séracs) und Eistrümmer.

Hoch liegende Verflachungen und Mulden im Relief sind die Sammelbecken für den Schnee und bilden die Nährgebiete der Gletscher. Das Eis folgt beim Abwärtsfließen dem vorgegebenen Gelände. Je nach den topographischen Verhältnissen bildet sich eine unterschiedliche Form des Eiskörpers aus und je nach der Ernährung bzw. ständig nach fließender Eismenge eine verschiedene Größe. Das Ergebnis sind vielerlei Gletschertypen. Bewegt sich das Eis in ein Tal hinunter und bildet eine Zungenform, ist es ein Talgletscher, ein „primärer“ Gletscher. Überzieht das Eis ein unregelmäßig gestaltetes Gelände ohne eine ausgeprägte Sammelmulde, entsteht ein Hanggletscher. Füllt das Eis eine eiszeitlich vertiefte Mulde, wird dies als Kargletscher bezeichnet. Wenn ein Gletscher an einer Steilkante abbricht, wird er als Hängegletscher eingestuft; von seiner Abbruchfront gehen Eislawinen in die Tiefe. Sie können am Fuß der Felswand einen neu-

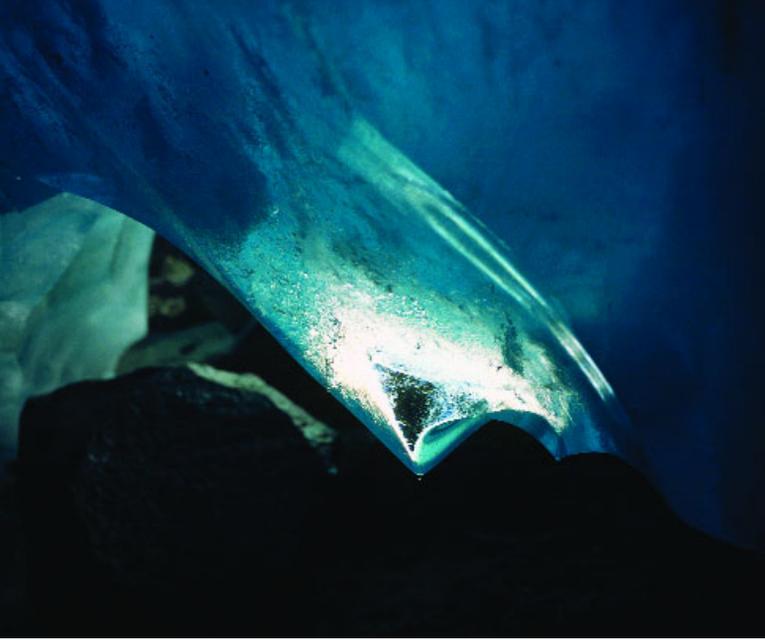
„Alle Gletscher haben Schründe ...“. Das spaltenezerrissene Karlinger Kees (Kapruner Tal) gegen das Riffel Tor (Übergang zur Pasterze) und den Großglockner (3.798 m).

„Alle Gletscher haben Schründe und alle Welt redet mit einer Art Schrecken von diesen Abgründen, die schon so manchen Gemsjäger und Bergwanderer verschlungen haben. Es sind dies ungeheure Risse in dem Eis, welche ... den Gletscher durchsetzen ...“. Ihre Gefährlichkeit wird „... doppelt überwogen durch die wunderbare Schönheit, den der Anblick ihrer im Widerschein der Sonne glänzenden Azurwände gewährt“.

„Die Gletscher werden oft in ihrer ganzen Breite von Spalten durchsetzt. ... Trifft der Gletscher in seinem Bette bedeutende Unebenheiten, steile Abstürze, so erweitern sich diese Spalten und werden dann jene gähnenden Schründe. ... Die Schründe wechseln ihre Form, Größe und Tiefe von Jahr zu Jahr, und oft in weit kürzeren Zeiträumen. Alte schließen sich und neue öffnen sich; stets aber hängt ihre Anordnung im Allgemeinen von lokalen Einflüssen und besonders der Boden­neigung ab, und ist stets mehr regelmäßig bei Gletscherbetten mit geringem Fall, als da wo steile Abstürze die größte Unordnung bedingen“ (Louis AGASSITZ, 1841).



Auszug (z.T. verändert) aus: Heinz Slupetzky: Ein Hohe - Tauern - Gletscherkaleidoskop. In: Tauern-Bilder-Bogen, OeAV 1998.



In Höhlen am Rand des Gletschers sind die Variationen der Eisfarbe im Gletscherinneren zu sehen. Direkt einfallendes Licht wird hell reflektiert (Stubacher Sonnblickkees).

en Gletscher bilden (einen regenerierten Gletscher).

Die dem Gletschereis eigentümliche Farbe hat seit jeher den Menschen fasziniert, hat Maler angeregt, sie so wiederzugeben, dass sie der Wirklichkeit

möglichst nahe kommt, hat Poeten inspiriert und Forscher vor die Aufgabe gestellt, das Phänomen zu ergründen und mit Naturgesetzen zu erklären.

„Alle Gletscher haben, aus der Ferne gesehen, eine leicht bläuliche oder grünliche spielende Färbung, welche aufs Angenehmste von der meist dunklen Farbe der alpinischen Gesteine absticht. Je zerrissener ... der Gletscher, desto mannigfaltiger das Farbenspiel Die spaltenlose Oberfläche der Gletscher dagegen bietet ... dasselbe matte Weiß, welches seit längerer Zeit gefallener Schnee zeigt Mit der Festigkeit und Sprödigkeit des Eises nimmt die azurblaue Tinte der Spalten ... zu. ... Die azurblaue Farbe wird auffallend erhöht durch ... Wasser. ... Verfolgt man den Gletscher bergaufwärts, so verliert das Blau allmählich ... an Tiefe und Sättigung; es wird mehr und mehr matt und wandelt sich oft in ein zartes Grün von seltener Schönheit. ...“. In den Gletscherbächen, die in die Oberfläche des Eises eingeschnitten sind, ... „sticht das beryllgrüne Bett ... der Bäche auf das Herrlichste gegen das tiefe Azurblau der Spalten ab.“ ... „Die Farbe der Gletscher scheint eine Eigenschaft des sie bildenden Eises ... zu sein; je dichter die Eismasse, in je größeren Mengen sie angehäuft sind, um so intensiver die Farbe; ja die Anhäufung des Eises ist eine nothwendige Bedingung zu ihrem Erscheinen; denn ein Stück, welches im Ganzen das schönste Azurblau darbot, erscheint losgeschlagen ebenso klar und durchsichtig, als ein Glas Wasser ...“ (Louis AGASSIZ, 1841).

Warum hat Gletschereis oft eine blaue Farbe? Eis ist ein Mineral, das eine natürliche hellblaue Farbe hat, wenn es in größeren Massen, wie in einem Gletscher, vorkommt. Alle Farben des Lichtspektrums werden vom Eis absorbiert, außer dem kurzwelligen Blau. Daher erscheint das Eis für das Auge blau (bis türkisgrün), besonders beim Blick in eine tiefe Gletscherspalte, bei einem frischen Eisabbruch an der Front eines Hängegletschers oder bei einer kalbenden Gletscherzunge in einen See. Meistens erscheint Gletschereis aber weiß aufgrund der vielen im Eis eingeschlossenen Luftbläschen, an der Eisoberfläche auch wegen der durch die Sonneneinstrahlung bedingten Schmelzprozesse, die das Eis porös und körnig werden lassen.

Wie entsteht Gletschereis? Die Entstehungsgeschichte beginnt im Nährgebiet, wo über viele Jahre Schnee Schicht für Schicht abgelagert wird. Aus mehrjährigem Schnee entsteht durch Umwandlung, vor allem durch Schmelzen und wieder Gefrieren, Firn, und mit dem zunehmenden Druck überlagern-



der Schichten schließlich Gletschereis. Aus den sechseckigen Schneeflocken sind Firnkörner und aus ihnen durch Verdichtung Eiskristalle geworden. Bei der Umwandlung werden Luftblasen eingeschlossen. Je größer manche Eisschichten unter Druck geraten sind, umso weniger Luftbläschen enthalten sie; das Eis

In den Nährgebieten wird aus vielen jährlich abgelagerten Schneeschichten, die nach der sommerlichen Schmelzperiode zurück geblieben sind, Firn und dann Gletschereis. Kleine Karngletscher beim Hocheiser (zwischen dem Kapruner und dem Stubachtal, 3.206 m, 24.7.2003).



erscheint klar und blau. Je mehr Luftblasen eingeschlossen bleiben desto heller ist das Eis. Die Wechsellagerung solcher Schichten wird als Blaubänderung bezeichnet. Bei Schmelzen des Eises wird dieses porös, die für Gletschereis typische Kornstruktur wird sichtbar. Die einzelnen Eiskörner können Zentimeter- bis Faust-, manchmal Fußballgröße haben. Bei manchen Gletschern ist dort, wo der Gletscherbach unter dem Eis hervorkommt, ein Eisgewölbe, ein so genanntes Gletschertor ausgebildet. Der Gletscherforscher weiß, dass größere Gewölbe bis 20 m breit, Dutzende Meter tief und zehn Meter hoch sein können. Das Vorkommen eines Gletschertores ist ein typisches Kennzeichen bei rückschmelzenden, dünn werdenden Gletschern. Bei Rückzugsphasen haben Gletscher am Zungenende nur mehr eine geringe oder fast keine Fließbewegung mehr. Die Gletscherhöhlen verdanken ihre Entstehung nur am Beginn dem fließenden Wasser, das zunächst einen niedrigen Tunnel oder eine ganz flache Höhle erodiert und durch Spritzwasser das umgebende Eis

langsam schmelzen lässt. Dann übernimmt aber die von außen einströmende oder durchstreichende warme Luft die Erweiterung des Tunnels. Ein sichtbares Zeichen dafür ist die Waben- und Schmelzschalenstruktur an den Tunnelwänden.

Das Gletschertor wird dadurch und in Folge der Luftzirkulation größer, außen schneller, innen langsamer, weshalb das Tor sich nach innen immer trichterförmig verengt. Der Größe eines Gletschertores sind jedoch Grenzen gesetzt. Sobald die Decke des Tunnels zu dünn wird stürzen am Rand immer wieder mehr oder weniger große Teile ein. Woher kommt der Gletscherbach? In den warmen Jahreszeiten schmilzt das Eis an der Gletscheroberfläche, gemeinsam mit dem abgetauten Schnee und

Der unterirdische Gletscherbach fließt aus einer Halbhöhle, dem Gletschertor, heraus. Die große Dimension ist durch Schmelzen aufgrund der Zirkulation warmer Luft und schalenartiges Abbrechen des Eises von den Wänden entstanden. Das Obersulzbachkees (Venedigergruppe) zerfällt an dieser Stelle stark (2003).



dem Regenniederschlag sammelt sich das Wasser in Rinnsalen und Bächen - nicht selten mäandrierend - und stürzt in Spalten, die zu senkrechten Röhren erweitert werden; es sind so genannte Gletschermühlen. Das Wasser findet seinen Weg durch steile Gänge und Tunnel in die Tiefe und steht zunehmend unter Druck wie die Wassersäule einer Kraftwerks-Rohrleitung. An der Basis des Gletschers übernimmt allmählich die Schwerkraft das Kommando, das Wasser sammelt sich an den tiefsten Furchen und fließt dem Ausgang zu, wo es beim Gletschertor zutage tritt.

Gletscher haben einen doppelten Einfluss auf den Wasserkreislauf im Gebirge: Sie geben den in der kalten Winterperiode abgelagerten Schnee verzögert, erst im Sommerhalbjahr, wieder ab. Sie verzögern aber auch über lange Zeiträume die Wasserabgabe. In Jahren bzw. Klimaphasen mit kühlem, niederschlagsreichem Wetter gewinnt der Gletscher an Masse und speichert „überschüssigen“ festen Niederschlag in Form von Schnee und Eis, in warmen Jahren bzw. Klimaphasen verliert der Gletscher an Substanz und führt damit dem Gletscherbach zusätzliche Wassermengen zum normalen Niederschlag zu. Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts sind große

Mengen an Eis abgeschmolzen, das vom Schnee vergangener Jahrhunderte stammt. Gletscher können nur aufgrund der kühlen und schneereichen Klimabedingungen in den Hochgebirgen der

Erde oder in den kalten Klimazonen existieren. Nun bleibt das Klima ja nicht gleich, sondern es ändert sich. Eine Klimaänderung hat zur Folge, dass sich die Ernährungsbedingungen für die Gletscher ändern und diese gezwungen sind, sich den neuen Klimaverhältnissen anzupassen. Damit ist ein wichtiger Zusammenhang aufgezeigt: Klimaschwankungen verursachen Gletscherschwankungen. Die Bestimmung der jährlichen Massenänderung ermöglicht die Erfassung der Wirkungskette Klima - Gletscher: Nämlich 1. von der von Jahr zu Jahr verschiedenen Witterung (bzw. längerfristig von Klimaänderungen) zur 2. direkten Auswirkung auf die Massenänderung des Gletschers, was sich 3. in einem geänderten Gletscherverhalten äußert (wie dicker- oder dünner werden, schneller oder langsamer fließen) und 4.

Der Brigdalsbrae, der vom Jostedalabrae herabfließt (Norwegen), stößt seit 1988 kräftig vor - 1994 80 m in einem Jahr! - und überfährt den Jungwald. Der Gletscher reagiert auf die starke Schneezunahme im Nährgebiet (zurückzuführen auf mildere und damit schneereiche Winter).
23.6.1996



am Ende der Kette einen Vorstoß oder einen Rückzug der Gletscherzunge bewirkt.

Zur Berechnung der Massenbilanz eines Gletschers misst man auf der einen Seite die jährliche Eisabschmelzung (im „Zehrgebiet“) an einer größeren Zahl ins Eis eingebohrter Pegelstangen und auf der anderen Seite am Ende des Sommers den (im „Nährgebiet“) zurückgebliebenen Schnee. Die Differenz aus der „Ausgabe“ an Abschmelzung und „Einnahme“ an Schnee von einem Jahr zum anderen ist die Massenbilanz.

Positive Bilanzen führen, wenn sie mehrere Jahrzehnte lang überwiegen, zu einem kumulierten Massenzuwachs. Wird mehr Schnee abgelagert, entsteht mehr Eis. Mehr Eis führt zu vermehrtem Eisabfluss. Fließt mehr Eis in die Gletscherzunge als abschmilzt, wird diese dicker und länger, der Gletscher stößt vor. Wenn umgekehrt hintereinander negative Bilanzen gehäuft über längere Zeit auftreten, verliert der Gletscher an Masse, es fließt weniger Eis in die Zunge nach als abschmilzt, sie verliert an Dicke und Länge, der Gletscher „geht zurück“.

Alle Veränderungen der Gletscher gehen in *Raum* und *Zeit* vor sich. Gletscher ändern sich in allen drei Dimensionen, in der Länge, Breite und in Dicke. Der Ablauf ist an der Dimension Zeit zu messen. Wie lange gibt es noch Gletscher? Eine nicht unberechtigte Frage angesichts des starken Gletscherrückganges und der Klimakatastrophen-Szenarien. Nach Meinung von Experten kann es durch den Treibhaus-

effekt bis zum Jahr 2100 um drei Grad wärmer werden, für Europa sagen manche sogar 5-6 Grad Erwärmung voraus. Bei einer Erwärmung um 3 Grad würde so viel Eis abschmelzen, dass nur mehr ca. 15 % oder auch weniger der gegenwärtigen Gletscher Österreichs übrig blieben. Durch den Treibhauseffekt könnte die zukünftige Klimaerwärmung ein Mehrfaches an Temperaturerhöhung bringen als während der bisherigen nacheiszeitlichen Warmphasen. Der Rückzug der Alpengletscher wäre dann so stark, dass nur mehr die höchsten Gipfelregionen vergletschert wären. Die Klimakatastrophe würde dann zur Katastrophe für die Alpengletscher.

Die Abschmelzung und Gletscherbewegung werden mit Messpegel erfasst. Mit einem Dampfbohrer können bis 10 m tiefe Löcher gebohrt und darin die Messstangen versenkt werden. Hier schmolzen in den 1980er Jahren jährlich 4 - 7 m Eis ab, der Messpegel wanderte an dieser steilen Stelle bis 25 m pro Jahr (Stubacher Sonnblickkees, 4.9.1998).

Univ.-Prof. Dr. Heinz Slupetzky
 FB Geographie, Geologie und Mineralogie
 Universität Salzburg
 Hellbrunnerstraße 34
 A-5020 Salzburg
 Tel. +43/(0)662/8044-5201
 E-mail: heinz.slupetzky@sbg.ac.at oder
 heinz.slupetzky@utanet.at
 www.uni-salzburg.at



Von angstbesetzten Mythen zur touristischen Attraktion

Clemens M. Hutter

Neugier ist der Motor aller Wissenschaft, weil Unerklärliches der Erklärung bedarf und Mythen nicht exakte Daten liefern. Ebenso ist sie Motor des Wirtschaftens, wie sonst wäre die „Marktlage“ zu ergründen. Für beide Aspekte liefert die Erforschung der Gletscher Beispiele.

Unsere Vorfahren hielten Gletscher und Hochgebirge für fluchbeladene Gegenden, weshalb dort auch die Seelen von Verdammten und Verwünschten leiden; ein eisiges Gegenstück der Hölle mithin, in der Geister, Hexen, Drachen und andere Ungeheuer die Rolle des Teufels übernehmen.

Trotzdem wagten sich Neugierige immer wieder über die Baumgrenze hinauf, denn Edelmetall, Mineralien, Schmuggel oder Wilderei verhießen Gewinn. Nicht so die Gletscher, auf sie trifft die (ökonomische) Definition des Spitzenalpinisten Lionel Terray für das Bergsteigen zu: „Eroberung des Unnützen“. Was boten Gletscher denn außer gefährliche Hindernisse auf transalpinen Wegen?

Die Griechen verklärten die Angst vor dem Hochgebirge, indem sie den Olymp zum Sitz der Götter erhoben, dem sich kein Sterblicher nähern dürfe.

Dieses klassische Tabu brachen die Römer aus imperialistischem Machtstreben. Deshalb kommen Gletscher in der lateinischen Literatur vor: Livius fand sie scheußlich, weil dort „Lebendes und Lebloses vor Frost erstarrt“; Silius Italicus irritierte, dass nicht einmal der „Sonnengott mit seinen feurigen Strahlen den gehärteten Reif auftauern kann“; Ammianus Claudianus warnte, dass „tückische Spalten den Wanderer zu verschlingen drohen“.

Es ist kein Zufall, dass das alpinistische Zeitalter mit der Aufklärung zusammenfällt, die Unerklärliches nicht mehr mit metaphysischen Argumenten erklärte. Als vor fast einem halben Jahrtausend die „kleine Eiszeit“ einen Klimasturz verursachte, suchten verschreckte Menschen eine Erklärung für Uner-

klärliches: Längere Winter, schlechteres Wetter und daher kürzere Vegetationszeiten bedrohten die Existenz der Bauern. Und man fand sehr schnell eine Erklärung: „Wettermacher“ trügen Schuld an diesem „Schadenzauber“. So bezeugte 1575 ein Hirte in Mittersill im Prozess gegen den 80-jährigen Bramberger Pfarrer Rupert Ramsauer und seine gleichaltrige Haushälterin, er habe auf dem Schmiedinger Kees einen Hexensabbat beobachtet. Hexen seien auf Besenstielen angeritten, hätten Gletschereis zerkleinert, als Hagel in das Tal geworfen und so die Ernte vernichtet. Ramsauer und seine Haushälterin endeten wegen Wettermacherei auf dem Scheiterhaufen.

Aus der Zeit dieses Klimasturzes datieren auch jene Sagen, die den unerklärlichen Vorstoß der Gletscher und die Entstehung der Gletscher überhaupt als



Hochköniggletscher n. Matrashaus, 3945m

Die sagenumwobene „Übergossene Alm“ auf dem Hochkönig in den 1920er-Jahren.

Strafe Gottes deuteten.

Wo heute die Pasterze durch den breiten Trog zwischen Großglockner und Fuscherkarkopf südostwärts fließt, dehnten sich einst üppige Almböden - wie auch u.a. auf dem Hochkönig oder auf der „Hochalm“ (Hochalmspitze). Da führten die Älpler ein got-



Gletscherspalten - atemberaubend schön, aber gefährlich!

teslästerliches Leben. Sie schwänzten den Gottesdienst am Sonntag, badeten in Milch, schoben mit Butterkugeln auf Kegel aus Käse und wiesen ausgehungerte Wanderer barsch von der Schwelle. In heiligem Zorn schickte also Gott zuerst ein fürchterliches Gewitter und schwere Regenfälle und hinterher einen eisigen Wind, sodass diese Almen samt Mensch und Vieh für immer unter Eis verschwanden.

Bemerkenswert daran ist die tradierte Erinnerung, dass Gletscher keineswegs aus „ewigem Eis“ bestehen, sondern „irgendwie“ auf Almböden entstanden. Immerhin steckt im Wort „Pasterze“ der lateinische und südslawische Begriff für „Wiese“ oder „Weide“. Gleiches belegen die Flurnamen „Hochalmkees“ und „Übergossene Alm“.

Die vergletscherte Terra incognita hatte allerdings schon lange vor der Aufklärung das Interesse einiger Naturwissenschaftler geweckt. Bahnbrecher unter ihnen ist der Schweizer Josias Simmler mit seiner 1874 erschienenen Monografie „Vallesiae (et Alpium) descriptio“. Darin beschreibt er, dass Menschen damals vergletscherte Schweizer Pässe regelmäßig überquerten. Simmler verweist auf sehr realistische Gefahren; nämlich dass „das alte Eis tiefe Spalten enthält und dass solche Spalten durch den frisch gefallen oder vom Wind angewehten Schnee verborgen sind“. Wer Gletscher überquert, heuert ei-

nen Führer an, der „diese gefährlichen Stellen kennt“, seine Schutzbefohlenen an ein Seil bindet, „den Weg mit einem langen Stock prüft und behutsam nach den vom Schnee bedeckten Spalten sucht“. Gelegentlich begleiten Führer auch „den Transport von Tragtieren und führen Balken mit sich, mittels derer sie über die Spalten einen Steg für die Tiere herstellen“. Von Geistern, Ungeheuern oder Wetterhexen also kein Wort - und das ein Jahr vor dem Hexenprozess gegen Pfarrer Ramsauer.

Eineinhalb Jahrhunderte nach Simmler beschrieb aber noch der Zürcher Arzt und Naturforscher Johann Jakob Scheuchzer 1706 solche Ungeheuer sehr genau - wiewohl nur nach dem Hörensagen. Und in hymnischer Begeisterung erklärte er auch erstaunlich realistisch die Entstehung von Gletschern: „Mächtige Natur! Du lässt Meere von unsichtbaren Dünsten in die Höhe emporsteigen, schwängerst damit die Wolken, lässt aus denselben glänzende Sterne (= Schnee) heruntersteigen und bekleidest damit die Berge wie mit dem kostbarsten Gewande. Du lässt (die Sterne) in feste und ewige Klumpen zusammengerinnen und türmest Eisschollen wie silberne Berge auf einander.“

Solche Beschreibungen kannte offensichtlich auch



der bedeutende Salzburger Aufklärer, Schulreformer und Schriftsteller Franz Michael Vierthaler, der im Jahr 1800 an der Expedition zur Ersteigung des Großglockners teilgenommen und darüber einem Expeditionsbericht geschrieben hat. Darin bekannte er sein Gruseln beim Blick in die Gletscherspalten auf dem Leiterkees: „Wir sahen da tausendjährige Eisrinden übereinander geschichtet. Der Bruch des Eises war glasicht und spielte blau, grün, grau bis hinunter in die Tiefe, wo ein Wirbel von Wasserdünsten keine Unterscheidung mehr erlaubte. Der bloße Gedanke an die Möglichkeit, in so eine Kluft zu stürzen, erfüllte uns mit Schauer.“

Der Klimasturz im 16. Jhd. hatte auch in der entlegenen Silvretta dramatische Folgen. In der Wärmeperiode des Hochmittelalters waren Engadiner Bauern auf der Suche nach Weideland für ihr Vieh über eisfreie Pässe auf die Nordseite der Silvretta vorgestoßen und bemächtigten sich dort herrenloser Almböden. In der „kleinen Eiszeit“ vergletscherte allerdings der Zugang über den Vermuntpass (2797 m) im Schatten des Piz Buin. Ein Graubündner Chronist beklagte 1572, dass nun beim Almauftrieb der Engadiner häufig Menschen und Tiere in Gletscherspalten fielen und dann unter großen Mühen mit ledernen Seilen wieder herausgezogen würden. Gespenster und Ungeheuer erwähnte er nicht.

Eine Grenzbeschreibung von 1610 präzisiert, dass die Engadiner „ihr Viech mit höchster Gefahr über die hohen Glötscher“ nach Norden trieben - bis zu 400 Rinder! Daher

müsse man manchmal „*ein Prett über die Klüfte legen, umb das Viech darüber zu treiben*“. Für solche Notbrücken würden sogar Almhütten abgedeckt. Derlei Gefahren beeinträchtigten weder Viehwirtschaft noch Handel. Spätestens seit dem 16. Jhd. holten Saumzüge gelegentlich den begehrten Veltliner Wein durch das Engadin und über den Vermuntpass nach Vorarlberg. Und seit dem frühen 18. Jhd. spielte sich alljährlich dort, wo jetzt der Silvretta-see ist, der „Tiraner Viehmarkt“ ab, auf dem hunderte Rinder aus Vorarlberg, Tirol und Graubünden ihre Besitzer wechselten. Riskanter Viehtrieb über den vergletscherten Vermuntpass - einerlei. Daran erinnern heute nur mehr Flurnamen wie „Ochsental“, „Ochsentaler Gletscher“ oder der Piz Buin, dessen klingender rätoromanischer Name auch nur „Ochsenspitze“ bedeutet.

Die normative Kraft des Ökonomischen überwand also langsam die psychische Macht der Mythen und Ängste.

Im Hochmittelalter waren die Pässe häufig eisfrei, wodurch beispielsweise die Engadiner Bauern ihr Vieh häufig auf die Nordseite der Silvretta trieben (im Bild der Piz Buin) trieben.



Die Geburtsstunde des Hängegleiter auf dem Obersulzbachkees im Jahre 1930.

aus: *Großvenediger, 1991*

nahm den Gletschern das geheimnisvoll Bedrohliche: Zwar ist das Eis ökonomisch nutzlos (vom Wasserhaushalt abgesehen), aber der Gletscher durchaus nicht. Zu dieser Einsicht verhalf ausgerechnet der Krieg als vermeintlicher „Vater aller Dinge“. Er war zumindest der Vater des Sommerschilaufs auf Gletschern.

Als Italien im Mai 1915 Österreich-Ungarn den Krieg erklärte, brauchte die k.u.k Armee für den Alpenkrieg, was sie an den Fronten im Osten nicht benötigt hatte: Eine hoch mobile Truppe auf Skiern. Die Suche nach einem geeigneten Übungsgelände endete in Kaprun auf dem Schmiedinger Kees, das im Gegensatz zu allen anderen Gletschern Österreichs nahe an einer Bahnstation (Zell am See) lag.

Die Heeresleitung beschlagnahmte die Krefelder und die Salzburger Hütte und begann im September 1915 mit der Ausbildung von Schisoldaten - ausgerechnet auf jenem Gletscher, auf dem 350 Jahre vorher ein Hirte einen Hexensabbat beobachtet hatte. Es sollte aber noch bis 1961 dauern, ehe die militärische Entdeckung des Sommerschilaufs auf Gletschern zur technischen Erschließung des Schmiedinger Keeses und damit zu einem touristischen Knüller gedieh.

Auf einem Gletscher schlug auch dem Hängegleiter die Geburtsstunde. Zwei Wiener hatten den Prototypen aus zwei verstellbaren Flügeln entwickelt, die der „Flieger“ mit einer Art Korsett an den Körper schnallte. Doch dieses Fluggerät brauchte für das

Wiewohl sich Mythen als liebenswürdige Sagen erhalten haben - die Entwicklung des alpinen Tourismus

Großglockners.

Den Wandel der Gletscher vom Objekt angstbesetzter Mythen zur touristischen Attraktion dokumentiert besonders eindrucksvoll die Glocknerstraße.

Franz Wallack entwarf sie und setzte 1925 nach einer Studienreise durch die Alpen ein beispielloses Ziel: Viele Alpenstraßen führen bis an die Gletscherbrüche, darüber hinaus aber keine. „Den Anblick auf den tief unter der Straße vorbeiziehenden Gletscher konnte man nur an einer einzigen Stelle der Alpen bewundern - von der Glocknerstraße.“

Abheben mindestens 40 km/h Tempo. Das aber schafften nur Schier. Auf der Suche nach einer extrem langen und flachen „Wiese“ stießen die Erfinder auf das Obersulzbachkees, wo im Mai 1930 der erste Versuch glückte - allerdings erst bei Tempo 100 und auch nur über 150 m Flugstrecke. Nahezu Tempo 100 schaffte übrigens auch die Schielite in der Nachkriegszeit bei den berühmten Abfahrtsrennen auf den Gletschern der Marmolata und des

Dr. Clemens M. Hutter
Raphael-Donner-Str 2
A-5026 Salzburg
Tel. +43/(0)662/62 03 90
E-mail: cmhutter@aon.at

1. Einleitung

Es gibt auf der Erde außerhalb von Grönland und der Antarktis rund 540.000 km² Eisflächen, die interessanterweise in allen Klimazonen von den Polargebieten bis zu den Tropen auftreten. Die beiden wichtigsten Klimagrößen, die über die Existenz von Eis auf der Landoberfläche entscheiden, sind Temperatur und Niederschlag. Die Temperatur nimmt mit der Höhe und der geographischen Breite ab, in den Alpen im Sommer ca. 6 Grad pro 1.000 m, von den Alpen bis zur Arktis ist die Abnahme rund 7 Grad auf eine Entfernung von 3.000 km.

In Spitzbergen oder Franz Josef Land (ca. 80°N) reichen die Gletscher bis zum Meer, die Schneegrenze ist nur wenige 100 m hoch; in den Ostalpen reichen die Zungen großer Gletscher bis ca. 2.000 m, die Schneegrenze ist hier rund 3.000 m hoch, und in den subtropischen Anden oder am Kilimandjaro liegt sie nahe an 6.000 m.

Der Niederschlag ist weniger regelmäßig verteilt als die Temperatur. In den Alpen nimmt er mit der Höhe zu, aber die Lage zur vorherrschenden Luftströmung (die den Niederschlag bringt) ist ebenso wichtig: am niederschlagsreichen Alpenrand (Allgäu, Zugspitze, Karwendel, Dachstein, Karnische Alpen) gibt es Gletscher, deren Oberrand unter 2.700 m liegt, im trockenen Alpeninneren (Vintschgau, Engadin) gibt es Gipfel über 3.200 m, die unvergletschert bleiben.

2. Die Massenbilanz

Um die Verteilung der Gletscher und ihre Reaktion auf Klimaänderungen zu verstehen, müssen wir ihre Lebensbedingungen erklären und zu verschiedenen Klimagrößen in Bezug setzen. Ein Gletscher entsteht an einer Stelle, wo jahrelang im Winter und Frühjahr mehr Schnee abgelagert wird, als im Sommer schmelzen kann.

Diese Firnrücklage wird in der Fachsprache Akkumulation (= Anhäufung) genannt. Sie hängt erstens vom Niederschlag und der Temperatur ab, wobei die Temperatur über Schnee oder Regen entscheidet, zweitens vom Wind, der den gefallenen Schnee verwehen und in Wechten und Mulden ablagern kann, und drittens von der Geländeform und wieder vom

Wind, beide für die Umlagerung durch Lawinen verantwortlich. Die drei Beiträge zur Akkumulation, Schneefall, Verwehung und Lawinen, stehen auf der Einnahmenseite in der Massenbilanz eines Gletschers.

Unter seinem eigenen Gewicht verdichtet sich der Firn in wenigen Jahren zu Eis und beginnt zu fließen wie ein viskos-plastisches Medium (Honig, heißer Teer oder Wachs sind Beispiele für langsames, viskoses Fließen; Plastilin oder Butter zeigen die plastische Verformung erst ab einem gewissen kritischen Druck, in der Eisbewegung wirkt beides).

Wenn das Eis der Schwerkraft folgend abwärts fließt, kommt es in wärmere Gebiete und beginnt zu schmelzen. Der Gletscher hat dabei seine Gleichgewichtsgröße dann erreicht, wenn jährlich im so genannten Ablationsgebiet auf der Zunge gerade soviel Eis schmilzt, wie aus dem Akkumulationsgebiet nachfließt.

Die Massenbilanz eines Gletschers heißt allgemein: $\text{Massenbilanz} = \text{Akkumulation} - \text{Ablation}$

Ein Gletscher ist im Gleichgewicht oder stationär, wenn:

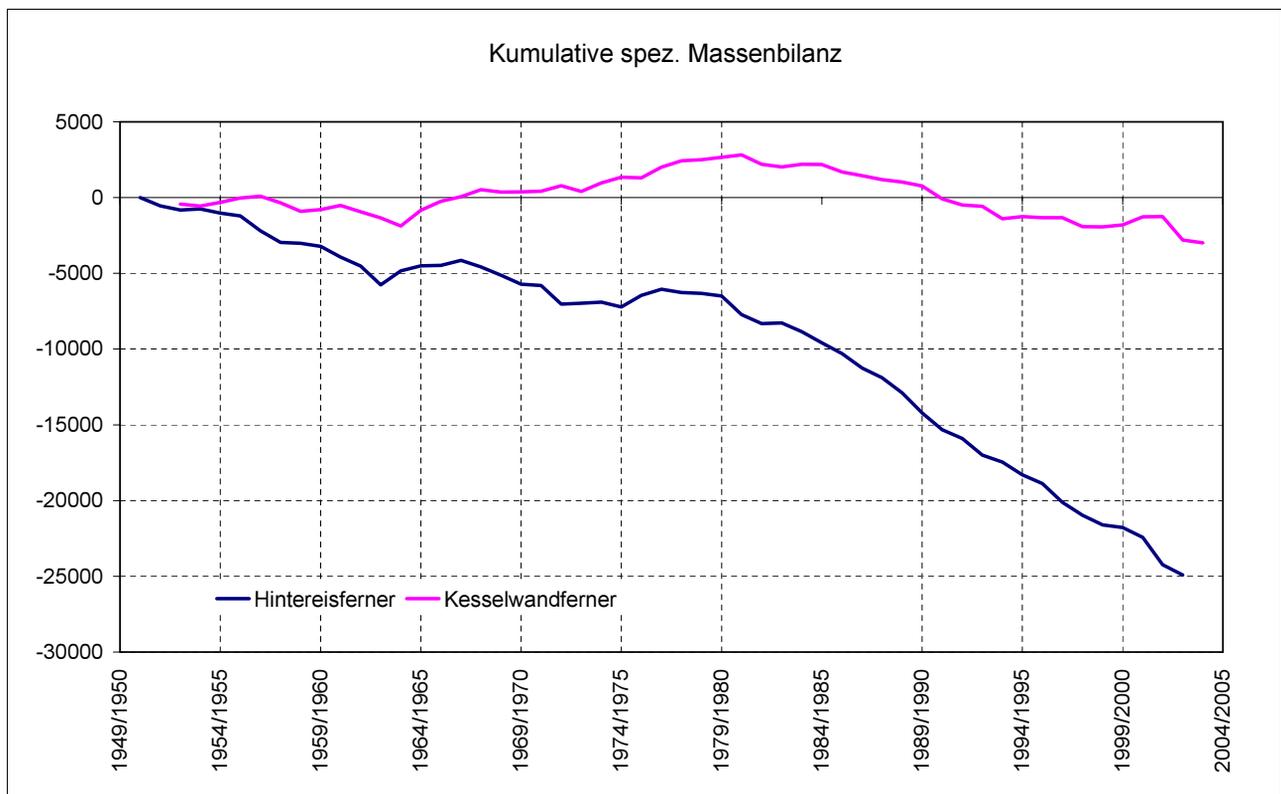
$\text{Akkumulation} = \text{Ablation}$.

Die spezifische Massenbilanz erhält man, wenn man die Massenbilanz durch die Gletscherfläche dividiert. Das Ergebnis wird in kg m⁻² oder anschaulicher und zahlenmäßig gleich in mm Wasseräquivalent ausgedrückt (z.B. in Abb. 1, S. 36).

Die Ablation auf der negativen Seite der Massenbilanz besteht in erster Linie aus Schmelzen, in zweiter aus Verdunstung, die aber in den Alpen unbedeutend ist. Schmelzen braucht Energie, deren Zufuhr aus der Atmosphäre von mikrometeorologischen Prozessen und von Klimagrößen kontrolliert wird. Die Aufteilung der Energieflüsse auf verschiedene Prozesse wird Energiebilanz genannt.

3. Die Energiebilanz

Der wichtigste dieser Prozesse ist die Absorption von Sonnenstrahlung an der Gletscheroberfläche. Die Sonnenstrahlung erreicht an einem wolkenlosen Tag im Juni in 3.000 m Höhe mittags eine Stärke von 1000 W m⁻², das bedeutet 400 W m⁻² im Tagesmittel. Von dieser Energie wird von dunklen Oberflächen mehr als von hellen absorbiert. Die Helligkeit (Albedo) von Schnee ändert sich mit der Zeit: Neuschnee



reflektiert rund 80 % und absorbiert also nur 20 % der einfallenden Sonnenstrahlung, Altschnee und Firn sind dunkler und sauberes Gletschereis absorbiert schon 60 %. Kleine Steine und Staub auf der Gletscheroberfläche können die Absorption auf 80 % erhöhen wobei der Staub lokalen Ursprungs sein oder mit Föhn aus der Sahara herantransportiert werden kann. In diesem Sinn sind Schnee und Eis also auch föhneempfindlich.

Als typische Wirkung der Absorption auf einer Gletscherzunge können wir einen Wert von 10 cm Eis festhalten, das an einem wolkenlosen Sommertag schmilzt. Ideal zur Erhaltung eines Gletschers wären also Winter mit viel Schnee und wenig Staubfällen und Sommer mit Schlechtwetter, das die Sonnenstrahlung vermindert und ihre Absorption durch Neuschneefälle verringert.

Im Firnbecken eines Alpengletschers werden mehr als drei Viertel der Schmelzenergie aus der Sonnenstrahlung genommen. Daneben wirkt auch die langwellige oder Infrarotstrahlung, die von Wolken und feuchter Luft mehr Energie zur Oberfläche bringt als vom wolkenlosen Himmel.

Zwei weitere Prozesse liefern Energie durch die turbulente Bewegung der Luft über der Eisoberfläche, die so genannte fühlbare Wärme, die mit der Lufttemperatur zunimmt, und die latente Wärme, die von der Luftfeuchte abhängt. Bei einem Tagesmittel der Lufttemperatur von z.B. 5°C liefert der turbu-

lente Wärmeübergang soviel fühlbare Wärme zur Oberfläche, dass rund 2 cm Eis pro Tag geschmolzen werden können, bei 10°C sind es doppelt soviel.

An einer kalten Gletscherzunge kann die Feuchte der warmen Talluft so kondensieren wie wir es von den Tropfen an einem kalten Glas kennen. In beiden Fällen wird Kondensationswärme (latente Wärme) frei, das Getränk im Glas erwärmt sich, das Eis schmilzt. 1 mm Kondenswasser schmilzt 8 mm Eis. Nach dieser Zusammenfassung der wichtigsten Vorgänge in der Massenbilanz eines Alpengletschers wird uns klar, dass sie viel mehr von der Sonnenstrahlung als von der Temperatur gesteuert wird. Dass man meist nur von den Folgen einer Klimaerwärmung für den Gletscher spricht, ist zwar eine grobe Vereinfachung, diese wird aber durch die hohe Korrelation von Temperatur und Sonnenschein akzeptabel: Schönwettertage sind warme Tage.

Abb. 1: Die kumulative (aufsummierte) Massenbilanz von Hintereis- und Kesselwandferner in mm Wasseräquivalent. Seit 1952 hat der Hintereisferner 25 m Wasseräquivalent oder ca. 28 m mittlere Eisdicke verloren. (Diagramm von F. Pellet, 2005)

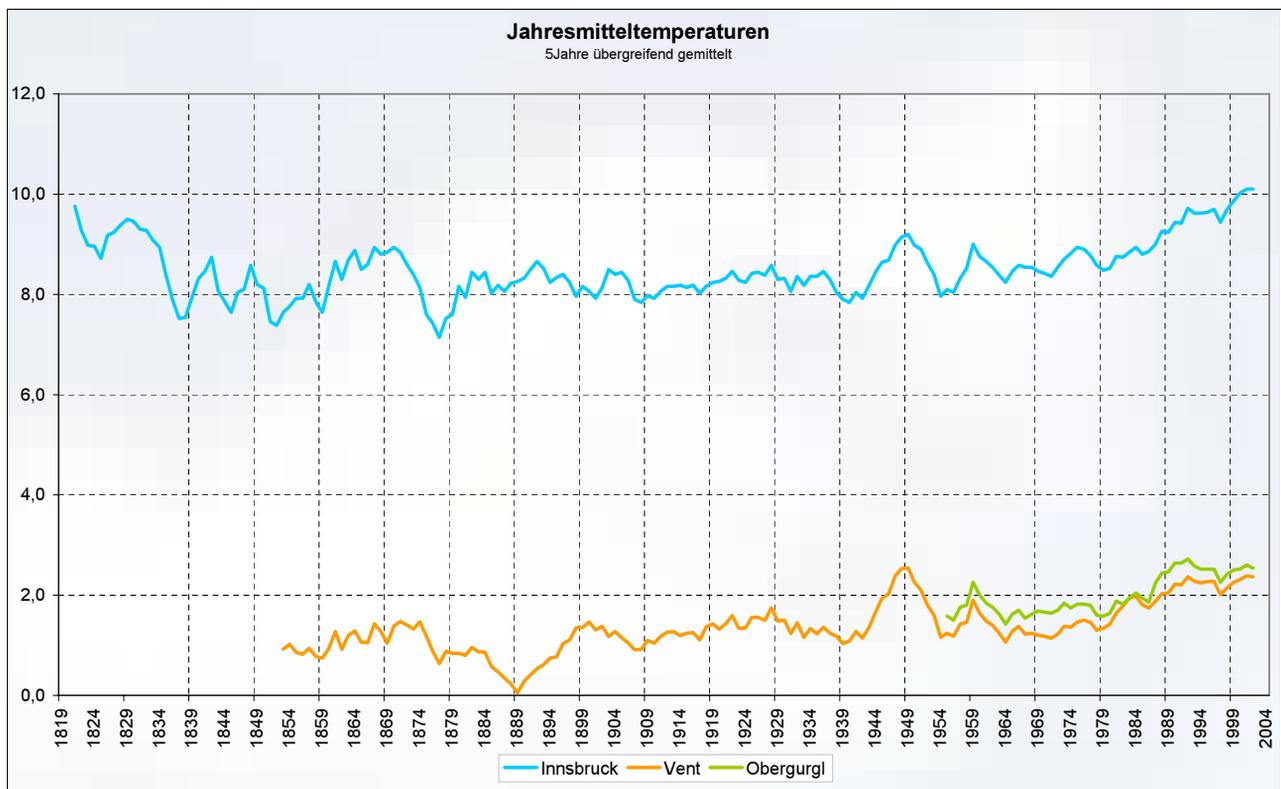


Abb. 2: Jahresmitteltemperaturen in Innsbruck, Vent und Obergurgl in °C, fünfjährig übergreifend gemittelt. (Diagramm von F. Pellet, 2005)

4. Was wissen wir über Gletscher und Klima aus bisherigen Messungen und Beobachtungen?

In den meisten Gebieten der Alpen hat sich die Jahresmitteltemperatur in den vergangenen 100 Jahren um 1-2 Grad erhöht (Abb. 2, S. 37), die Wintertemperatur mehr als die der Sommer. Für die Niederschläge und die Bewölkung wurde kein einheitlicher Trend festgestellt. Die Zahl der sommerlichen Neuschneefälle hat abgenommen, sie ist aber nicht nur eine Funktion der Temperatur, sondern auch der Häufigkeit bestimmter Wetterlagen.

Das in letzter Zeit viel diskutierte „Solar Dimming“ bezieht sich auf die verringerte Durchlässigkeit der Atmosphäre für Sonnenstrahlung an Schönwettertagen, ist nicht verlässlich belegt, müsste aber dem Gletscher helfen.

Wie haben die Gletscher reagiert? Sie sind seit 1850 kleiner geworden, mit kurzen Unterbrechungen um 1920 und 1980, als 75 % der österreichischen Gletscher vorstießen. Die Abnahme ihrer Länge ist seit 100 Jahren gut dokumentiert. Der Hintereisferner ist seit 1850 stark geschrumpft: sein Volumen war damals 1,5 km³, heute sind nur noch weniger als 0,5 km³ davon übrig. Seine Länge hat sich von etwa 10 km damals auf weniger als 7 km heute verringert. Interessant ist, dass seine maximale Dicke nur ganz

wenig abgenommen hat, von ca. 250 m im Jahr 1850 auf 220 m

heute. Die Änderungen haben also vor allem den unteren Teil der Zunge betroffen. In den letzten 20 Jahren sind allerdings auch die oberen Gletscherflächen stark geschwunden. Die obere Umrandung der Gletscher ist meist steil und hat deswegen nur eine dünne Eisdecke, die rasch schmelzen kann. Abbildung 3, S. 38 zeigt die Ausaperung des Feuersteins in den Stubai Alpen, der vor 30 Jahren noch bis zum Gipfel eisbedeckt war. Auf diesem Bild sieht man auch deutlich, wie sich in den Spalten des so genannten Bergschrunds das schneller fließende, dicke Eis des Gletschers vom dünnen, fast bewegungslosen Eis der Steilflanken löst und den Bergsteigern eine mehrere Meter hohe Stufe entgegenstellt.

Die Reihe der Gletscherstände in der Abbildung 4, S. 38 wurde von Dr. Norbert Span am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck aus den Karten digitalisiert, die seit 1894 mit einer Genauigkeit aufgenommen wurden, die etwa dem heutigen Stand der Technik entspricht. Die Reihe zeigt den Rückzug der Zunge des Hintereisferners, während dem die Oberfläche im Firngebiet im oberen Teil des Gletschers bemerkenswert geringe Änderungen erfahren hat.



Abb. 3: Ausapernde Steiflanken und Bergschründe am Feuerstein, Stubai Alpen, August 2003.

Die Auswertung des neuen Österreichischen Gletscherkatasters ist noch nicht im Detail abgeschlossen, lässt aber eine

Verringerung der Gletscherfläche von 540 km² im Jahr 1969 auf rund 450 km² erwarten. Dabei sind einige kleinere Gletscher ganz verschwunden, manche in mehrere Teile zerfallen.

Die Geschwindigkeit der Eisbewegung hat stark nachgelassen. Messpunkte am Hintereisferner, die sich 1980 mit 50 m pro Jahr bewegt hatten, legen jetzt weniger als 10 m pro Jahr zurück. Dadurch wird an manchen Stellen der Eisnachschub so gering, dass die Gletscherbäche von unten Gewölbe und Löcher in die Gletscherzungen schmelzen.

Messungen der Massenbilanz werden an mehreren österreichischen Gletschern durchgeführt, die in den beiden letzten Jahrzehnten alle starke Verluste erlitten. Die beiden seit 1952 untersuchten Gletscher Hintereisferner und Kesselwandferner sind in der Abb. 2, S. 37 dargestellt. Der Hintereisferner hat in den vergangenen 50 Jahren 25 m Wasseräquivalent verloren, das entspricht einer Verringerung der mittleren Eisdicke um 28 m, den Großteil davon in den Jahren seit 1985. Dass der unmittelbar daneben liegende Kesselwandferner sich anders verhalten hat, liegt an seiner Topographie und Größe. Er ist kleiner und hat eine Geländeform, mit der er sich rasch an neue Klima- oder Massenhaushaltsbedingungen anpassen kann, erst in den letzten Jahren ist auch er eindeutig „auf dem Weg bergab“.

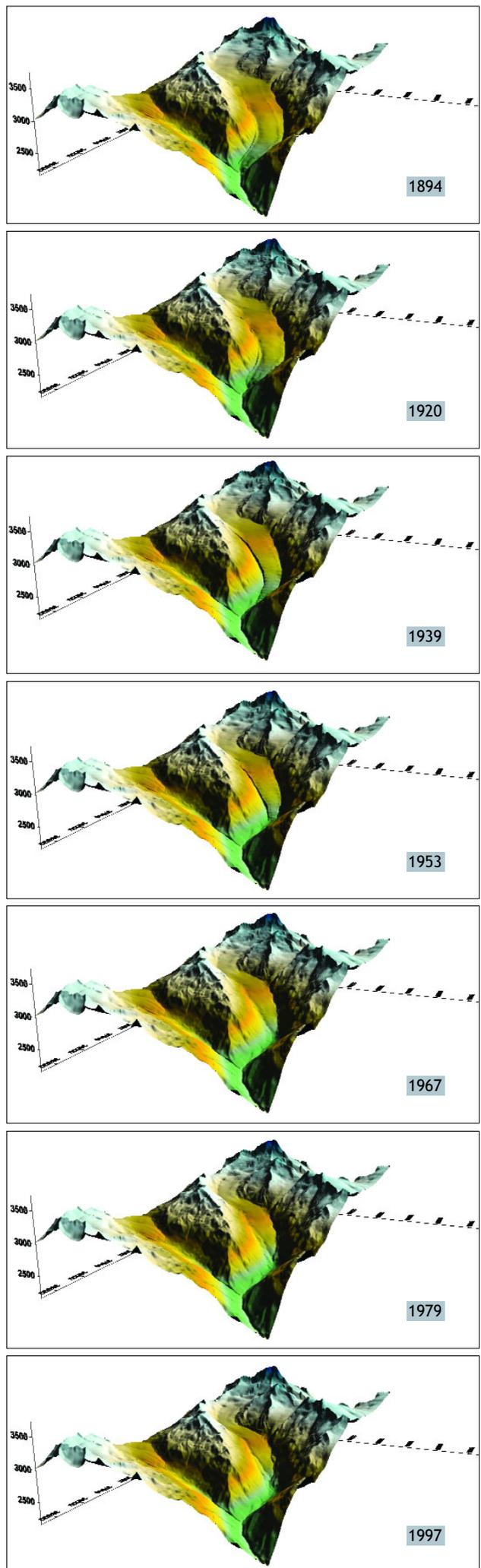


Abb. 4: Die Entwicklung des Hintereisfernens von 1894 bis 1997, dargestellt als digitale Höhenmodelle von N. Span, 2003. Die Farben geben die Höhen an, Gletscher außer dem Hintereisferner sind in allen Bildern unverändert in ihrem heutigen Zustand wiedergegeben.

5. Hängt die Reaktion eines Gletschers also von seiner Größe ab?

Ganz gewiss! Interessanterweise gibt es dabei drei Größenklassen, die verschieden reagieren.

- Die ganz großen (für Ostalpenmaßstäbe heißt das 5 km² und mehr) wie Pasterze, Gepatschferner oder Hintereisferner, reagieren langsam auf Klimaschwankungen, eine positive Phase im Massenhaushalt, wie die von 1965 - 80 hat sie nicht zum Vorstoß gebracht, während das mehr als 75 % der österreichischen Gletscher schon geschafft haben.
- Der Großteil der Ostalpengletscher kann innerhalb von 10 Jahren mit einem Wechsel von Rückzug zu Vorstoß reagieren. Das österreichische Gletscherinventar zeigt, dass unter den etwas mehr als 900 Gletschern die Größenklasse 0,1 - 0,2 km² am häufigsten vorkommt. Das sind dann auch die Gletscher, die eine geringe Vertikalerstreckung haben, damit bei einer Erwärmung auch leicht ganz verschwinden können, siehe zum Beispiel Abbildung 5.

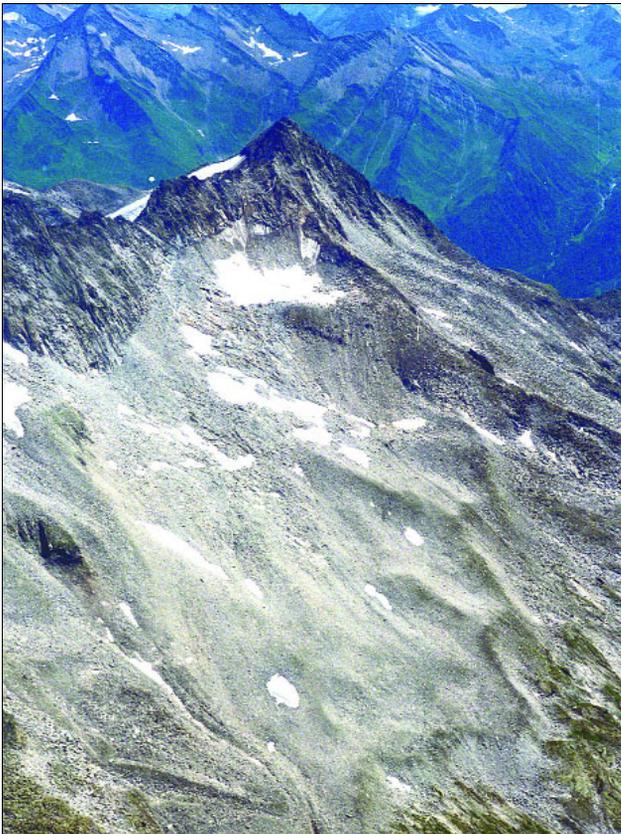


Abb. 5: Verschwundener Gletscher an der Napfspitze, Zillertal. Die Moränen zeigen seine Ausdehnung um ca. 1850.

- Die kleinsten Gletscher sind in den Alpen die Kargletscher, die die niedrigsten Höhen einnehmen (z.B. der Eiskargletscher in den Karnischen Alpen, 2.120 m - 2.380 m, 18 Hektar, oder der Vorderseeferner im Lechtal, der in Abbildung 6 gezeigt wird). Sie reagieren erstaunlich wenig auf Klimaschwankungen. Man hätte erwartet, dass sie als erste verschwinden, aber sie überstehen in fast unveränderter Größe alle Klimaschwankungen, weil sie von der Akkumulation und nicht von der temperaturabhängigen Ablation reguliert werden. Durch Lawinen und Verwehung werden ihre Becken jährlich so rasch gefüllt, dass sehr viel Schnee darüber hinausschießt, dass sie also einen garantierten Überschuss haben und damit von den Klimagrößen Temperatur und Strahlung unabhängig werden.



Abb. 6: Der Vorderseeferner in den Lechtaler Alpen als Beispiel für einen Kargletscher, 1994.

Es bleiben also die Gletscher, deren Flächen in der Größenordnung von 1 km² liegen, als die empfindlichsten Klimaindikatoren.

6. Die Zukunft der Alpengletscher

Aus den intensiven Beobachtungen und Messungen der Alpengletscher seit mehr als 100 Jahren können wir ihre Reaktionen auf zukünftige Klimaänderungen qualitativ und quantitativ formulieren:

- Alpengletscher reagieren sehr stark auf die Sommertemperaturen, aber nicht nur auf sie, Winter-niederschlag, Windrichtung und die Häufigkeit von Schneefällen im Sommer sind weitere wichtige Faktoren.
- Modellrechnungen, bei denen die Mitteltemperaturen in allen Jahreszeiten um 1 Grad erhöht werden, ergeben gemittelt über die heutigen Gletscherflächen einen jährlichen Verlust von knapp 1 m Eisdicke.



Abb. 7: Hintereis- und Kesselwand-Ferner

3. Bleibt die Temperatur konstant auf dem erhöhten Wert, dann schrumpfen die Gletscher so lange, bis sie mit dem neuen Klima wieder im Gleichgewicht sind. In den Ostalpen bedeutet das bei einer Temperaturerhöhung um 1 Grad eine Verschiebung der Gleichgewichtslinie (Firmlinie) um 120 bis 150 m nach oben. Gletscher, deren oberer Eisrand heute nur weniger als 120 m über der Firmlinie liegt, werden dann ganz verschwinden, wie zum Beispiel in Abbildung 5, S. 39.
4. Ein Klimaszenario mit einer um 3 Grad höheren Temperatur, wie es von mehreren Modellen der globalen Zirkulation "vorhergesagt" wird, würde dann Gletscher in den österreichischen Alpen nur noch bei Gipfelhöhen über 3.300 m überleben lassen.
5. Die vom Eis freigegebenen Flächen (Abb. 3 und 5) sind mit lockerem, instabilem Material bedeckt, das dem Bergsteiger technische Schwierigkeiten und Gefahren bereitet. Hänge, für die bisher ein Gletscher als Widerlager gewirkt hat, kommen nach seinem Abschmelzen ins Rutschen, sodass Steinschlag und Muren zunehmen.
6. Die ausgleichende Wirkung der Gletscher auf den alpinen Wasserkreislauf wird verringert. In hei-

ßen, trockenen Sommern ersetzt heute das Schmelzwasser den fehlenden Niederschlag und gibt den Gletscherbächen eine gleichmäßigere Wasserführung als den Bächen in unvergletscherten Tälern.

Diese Angaben sollen dem Leser ungefähre Vorstellungen über die möglichen Änderungen der Alpengletscher geben, aber Gletscher sind Individuen, und ihre individuellen Abweichungen, wie z.B. in Abbildung 1, S. 36 und Abb. 7, werden durch die Topographie ihrer Umrahmung bedingt.

Univ. Prof. Dr. Michael Kuhn
 Institut für Meteorologie und Geophysik
 Universität Innsbruck
 Innrain 52
 A-6020 Innsbruck
 Tel. +43/(0)512/507-5450
 E-mail: michael.kuhn@uibk.ac.at
 www.uibk.ac.at

Gletscher - Wasserkreislauf und Wasserspende

Ludwig Braun & Markus Weber

Einleitung

Die Alpengletscher sind im Wasserkreislauf eine wichtige Speichergröße, welche sich regulierend auf den Abfluss aus den Hochgebirgsregionen auswirkt. Durch die Erwärmung seit Mitte des 19. Jahrhunderts ist gut die Hälfte der in Form von Eis gespeicherten Wassermenge abgeflossen, und sollte sich der Trend der letzten 150 Jahre fortsetzen, könnte bis zum Ende dieses Jahrhunderts der Großteil der Gletscher verschwunden sein. Welches wären die Konsequenzen auf die Wasserführung der Alpenflüsse? Gibt es Möglichkeiten, das Abschmelzen durch Eingriffe des Menschen zu verlangsamen?

Die Alpen als Wasserschloss

Eine der schlimmsten Folgen der Klimaerwärmung besteht in einem großräumigen Wassermangel. Eine leise Vorahnung von den in Europa zu erwartenden Problemen vermittelte der Sommer 2003 in Mitteleuropa und zeigen die 2005 aufgetretenen extre-

men Trockenperioden in Spanien, Portugal und Süditalien. Die Bewohner der Alpen und die unmittelbaren Anrainer mit Ausnahme der Po-Ebene sind dagegen trotz des besonders starken Anstiegs der mittleren Temperaturen offensichtlich weniger durch Trockenheit gefährdet.

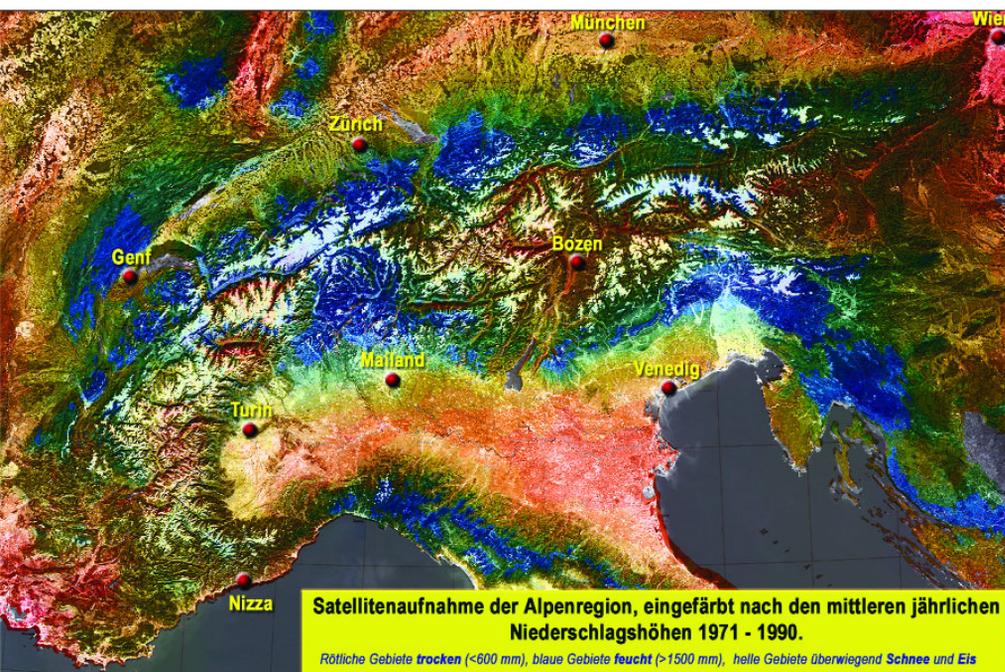
Die Alpenländer profitieren gegenwärtig von den Besonderheiten des alpinen Klimas. Die Berge stellen ein beachtliches Strömungshindernis dar, zwingen die Luftmassen zum Aufsteigen und fördern damit in hohem Maße die Bildung von Niederschlag. Im Bereich der Gipfellagen der Luvseiten der Gebirge wird daher in der Regel gut die dreifache Niederschlagsmenge des Umlandes gemessen. Bereits mit der Annäherung an das Gebirge steigt der Niederschlag deutlich an (siehe Abb. 1).

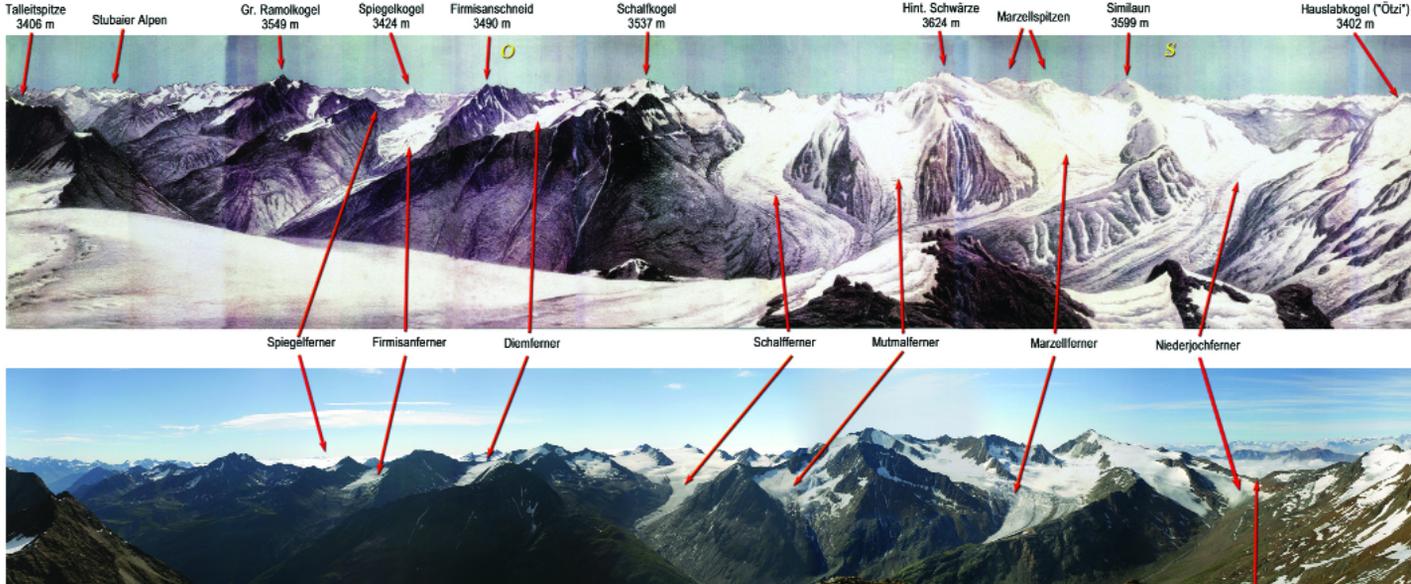
In den Bergen fällt ein großer Teil dieses Niederschlags im Jahreszeitenzyklus zunächst als Schnee, der im Frühjahr und Frühsommer überwiegend geschmolzen wird. Die Flüsse erhalten dann eine zusätzliche Spende zu den aktuellen Niederschlägen in Form des Schmelzwassers. Unter ungünstigen Umständen kann diese so üppig ausfallen, dass es im Alpenvorland zu den berühmten Hochwasserereignissen im Frühjahr kommt.

Üblicherweise bezuschussen die Schneevorräte auf den Bergen die Gebirgsbäche und -flüsse auch in trockenen Episoden bis weit in den Sommer hinein.

Abb. 1: Satellitenaufnahme des Alpenbogens, eingefärbt je nach mittlerer jährlicher Niederschlagshöhen (1971-1990 nach Schwarb et al. 2001, Hydrologischer Atlas der Schweiz, Blatt 2.6), wobei Trockengebiete ($N < 600$ mm) rötlich, Feuchtgebiete ($N > 1500$ mm) blau und Gletscher- und Schneegebiete sich hell abzeichnen. Demnach befindet sich die Mehrzahl der Gletscher in hochgelegenen Bereich der Zentralalpen und in den niederschlagsreichen nördlichen Randalpen.

Bildbearbeitung: M. Weber





360°-Panoramen vom Gipfel der Kreuzspitze (3455 m) in den Ötztaler Alpen
Digitale Bildbearbeitung: M. Weber © KIG 2002/2005

Oben: Lithografie von 1869 im Auftrag von F. Senn

Unten: Fotografie vom 4. Juli 2005

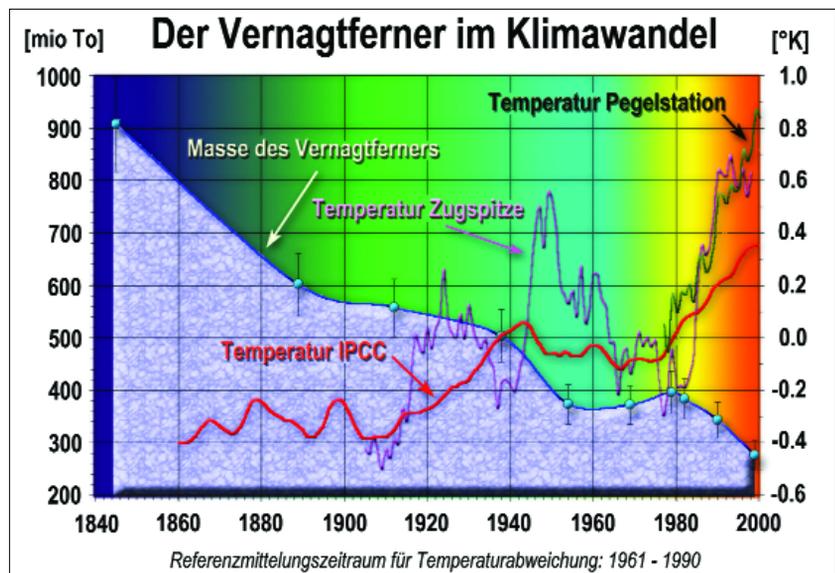
Niederjoch mit Similaunhütte (3017 m)

Die Gletscher und ihre hydrologische Bedeutung

Bleiben die Niederschläge im Sommer auf Grund einer Schönwetterlage über längere Zeit aus, führen die meisten großen Alpenflüsse immer noch erhebliche Wassermengen. Dafür sind primär die Gletscher verantwortlich, die sich unter den klimatischen Bedingungen der letzten Jahrhunderte bilden und erhalten konnten. Etwa vergleichbar mit den Pfützen, die nach einem Niederschlagsereignis immer an der gleichen Stelle zu finden sind, bildete sich Gletschereis an den Stellen, an denen sich das Gleichgewicht zwischen der Schneeanammlung und der Schneeschmelze zugunsten von ersterer verschoben hatte. Bevorzugt sind in diesem Sinne z.B. hoch gelegene Mulden und Plateaus oder Gratregionen (siehe auch Abb. 1, S. 41). So entstand das Bild der eisgepanzerten Alpen, das insbesondere durch historische Abbildungen aus Mitte des 19. Jahrhunderts belegt ist (Abb. 2). Damals erreichten die Gletscher ihren letzten Hochstand, die jüngste maximale Ausdehnung. Die heutigen Alpengletscher sind somit keine Relikte der letzten Eiszeit, sondern haben sich durch das Wechselspiel der Prozesse Schneeakkumulation und Schmelze ständig erneuert.

Seit dem letzten Höchststand um 1850 hat sich das Gleichgewicht der Gletscher, bei dem der Zuwachs im Nährgebiet und der Verlust im Zehrgebiet sich die Waage hielt, mit einer allmählichen Erwärmung der bodennahen Luftschicht deutlich in Richtung zur Schmelze verschoben. Die Gletscher wachsen nicht mehr, sondern verlieren erheblich an Substanz, die sie in der Zeit vor 1850 ansam-

eln konnten (Abb. 3a u. 3b). So existierten in den Alpen gegen Ende des 20. Jahrhunderts noch rund 5.000 Gletscher mit einer Gesamtfläche von 2.500 km² und einem geschätzten Eisvolumen von 125 km³. Dies dürfte um 1850 noch mehr als das Doppelte betragen haben. Die detaillierte Beobachtung der Massenänderungen ausgewählter Gletscher zeigt zudem, dass die Massenverluste in den letzten 25 Jahren mit einem guten Drittel der ursprünglichen Gesamtmasse besonders hoch gewesen sind. Ähnlich einem Bankkonto, dessen Saldo sich durch Änderungen der Einnahmen und der Ausgaben verändert,



könnte das Schwinden der Gletscher sowohl auf verminderte Schneefälle als auch auf verstärkte Schmelze zurückgeführt werden. Die Untersuchungen zu die-

Abb. 3a: Abnahme der Masse des Vernagtferners seit 1846 in Zusammenhang mit dem Anstieg der mittleren Temperatur auf der Nordhalbkugel (IPCC), der auf dem Gipfel der Zugspitze seit 1900 und an der Pegelstation Vernagtbach seit 1974.

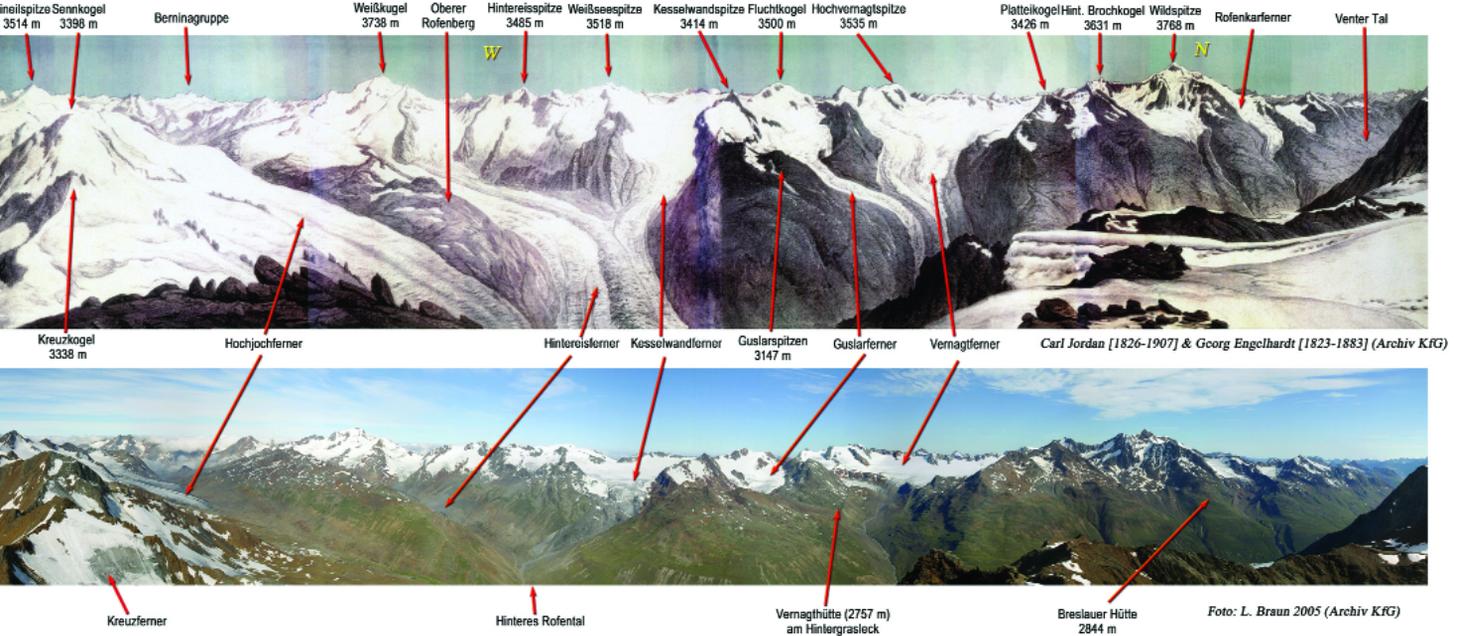


Abb. 3b: Vernagtsferner von der Kreuzspitze (3.455 m).

ser Fragestellung ergeben beispielsweise für den Vernagtsferner in den Ötztaler Alpen, dass sich die Menge des im Winter gefallenen Schnees nur unwesentlich geändert hat, die im Sommer produzierten Schmelzwassermengen sich dagegen

Wann und wo der Gletscherabfluss beginnt

Wie kann es dazu kommen, dass das Wachstum der Gletscher so sensibel auf Änderungen des Klimas reagiert und dabei die Gletscherbäche derartig anschwellen? Des Rätsels Lösung ist im Sommer zu finden. Für den Laien werden Gletscherflächen überhaupt erst im Sommer sichtbar, wenn sie sich von der dann schneefreien Umgebung deutlich abheben. Auch fallen dann erst die vielen Gletscherbäche auf, die das Schmelzwasser der Gletscher schnell und effizient ins Tal befördern. Man kann beobachten, dass das Wasser am stärksten an heißen und wolkenarmen Sonnentagen fließt, denn die Sonnenstrahlung liefert den Hauptanteil der Energie zur Schmelze von Eis und Schnee.

Abb. 2: 360° - Rundumsicht über die Gletscher des Hinteren Ötztals von der Kreuzspitze 3.455 m. Oben nach einer Zeichnung von Engelhard und Jordan aus dem Jahr 1869, unten eine Fotografie vom Juli 2005. Der Vergleich beider Abbildungen bezeugt einerseits die Detailtreue der historischen Darstellung, andererseits auch das Ausmaß des Gletscherschwundes innerhalb der letzten 136 Jahre in dieser Region.
Bildbearbeitung: M. Weber

Demnach wären die maximalen Schmelzwassermengen um die Mittagszeit zum Sommeranfang zu erwarten, denn um diesen Zeitpunkt erreichen der Sonnenstand und die Strahlungsintensität ihr Maximum. Tatsächlich beobachtet man die höchsten Abflüsse erst im Hochsommer, in der Regel innerhalb der ersten Augushälfte. Dies hat seine Ursache unmittelbar darin, dass die Schmelzwasserbildung nicht allein vom Energieangebot (Sonneneinstrahlung) abhängt, sondern auch davon, welcher Anteil davon absorbiert und damit genutzt werden kann.

Ein schneefreier Gletscher produziert viel mehr Schmelzwasser

Prinzipiell schmilzt ein Gletscher in der gleichen Weise wie ein Eiswürfel in der Schale. An seiner Oberfläche wird Energie aus der Umgebung aufgenommen, die zur Phasenumwandlung verbraucht wird, sobald die Oberflächentemperatur den Gefrierpunkt erreicht hat. Der Wärmeaustausch zwischen der Atmosphäre und dem Gletscher ist ein komplexer Vorgang, der nicht allein von den Strahlungs- und Temperaturverhältnissen, sondern insbesondere auch von der Luftbewegung und der Feuchte abhängt. Vereinfacht ausgedrückt: Eine Schnee- und Eisoberfläche empfängt umso weniger Energie, je heller und glatter sie erscheint. Eine dunkle zerklüftete Eisoberfläche absorbiert gut das 4- bis 5-

fache an Strahlungs- und Wärmeenergie wie eine frische glatte Neuschneedecke.

Solange der Gletscher schneebedeckt ist, schreitet somit die Schmelze nur zögerlich voran, weil der größte Teil der einfallenden Globalstrahlung reflektiert wird und daher dem Schmelzprozess entzogen ist. Kommt unter dem Schnee das dunkle Eis zum Vorschein - man spricht dann vom „Ausapern“ des Gletschers -, schmelzen dort bis zu 10 cm Eis an einem einzigen warmen Sommertag. Das gebildete Schmelzwasser fließt über Gerinne an der Gletscheroberfläche (Schmelzwasserbäche), dann gletscherinterne Fließwege (Gletschermühlen - Röhren und Tunnel, Abb. 4) und schließlich in einem Netz von Wasserwegen vergleichbar mit einer Stadtentwässerung am Gletschergrund ab, kommt gebündelt am Gletschertor heraus und bewirkt einen ausgeprägten Tagesgang in der Wasserführung des Gletscherbachs. Dabei ist es wichtig, wie das Nährgebiet beschaffen ist. Ist dieses zu über 2/3 der Gesamtfläche des Gletschers mit Altschnee (Firn) bedeckt, so wird das Wasser darin gleich einem Schwamm über Tage zwischengespeichert und damit verzögert abgegeben. Dies war bei „gletschergünstigen“ Massenhaushaltsbedingungen in der zweiten Hälfte der 1960er und in den 1970er Jahren der Fall. Nach den starken Massenschwundjahren, die wir seit 1980 beobachten, haben sich die Flächen mit Firnbedeckung sehr verkleinert, es

Abb 4: Abflusskanäle an der Gletscheroberfläche (links) und im Eiskörper (rechts) des Vernagtferners.



kommt zu einem verstärkten und rascheren Abfließen des Schmelzwassers, was einen stark vergrößerten Tagesgang im Gletscherbach zur Folge hat (Abb. 5).

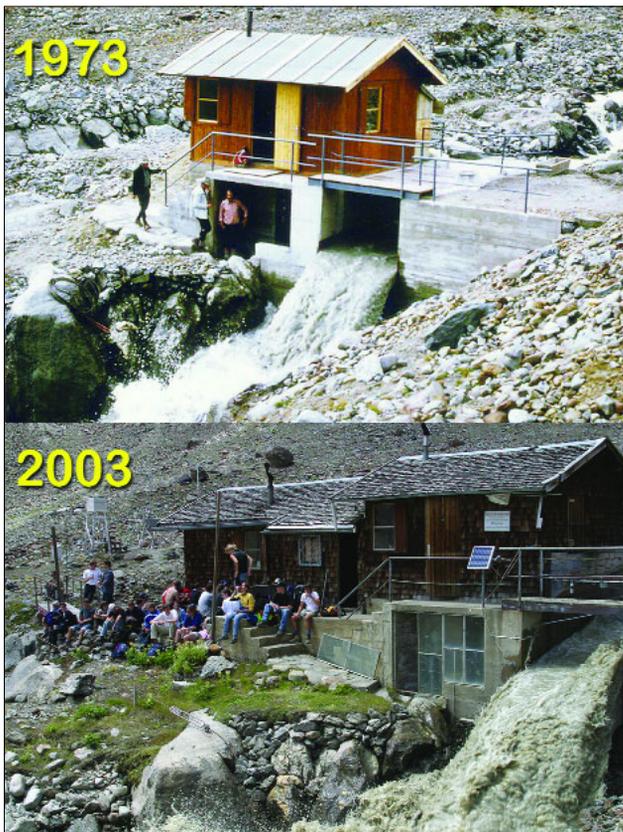


Abb. 5: Die Spitzenwerte des Abflusses im August an der Pegelstation Vernagtbach haben sich seit Beginn der kontinuierlichen Messungen 1973 mehr als verdoppelt.

Der sich beschleunigende Massenschwund dagegen resultiert vorwiegend aus einer Zunahme der Anzahl der Tage mit ausgeprägter Schmelze gegenüber „früher“. Der Extremfall wurde im Sommer 2003 beobachtet, als statt der üblichen 10 bis 20 Tage mit ausgeprägter Schmelze plötzlich 100 Tage auftraten. Diese Beobachtung deckt sich mit den Prognosen der Klimamodelle, welche nicht unbedingt immer heißere Tage, sondern eine Zunahme der Anzahl der heißen und überdurchschnittlich warmen Tage vorhersagen.

Gletscher als Quellregion von Hochwässern

Nach den Vorhersagen der Klimaforscher werden in Zukunft die Niederschläge in den Sommermonaten auf wenige, aber sehr ergiebige Kurzzeitereignisse beschränkt sein. Durch das weitere Ansteigen der

Frostgrenze fällt der Niederschlag bis in große Höhen als Regen, damit entfällt der früher wirksame Selbstschutzmechanismus vor Hochwasser, denn durch die Zwischenspeicherung der Niederschläge in Form von Schnee wurde der Abfluss verzögert und bewahrte die Alpentäler vor schlimmeren Katastrophen. Unter den aktuellen Verhältnissen kann bei einem heißen Sommertag das stark erhöhte Schmelzwasser mit Abflüssen der Gewitterniederschläge zusammenfallen und sich überlagern, wie z.B. am 4. August 1998 im Einzugsgebiet des Vernagtbachs im hinteren Ötztal beobachtet.

Beschleunigte Eisschmelze auch bei kleiner werdenden Gletschern

Einige Prozesse der Gletscherschmelze ermöglichen einen selbstverstärkenden Effekt, so dass die Gletscher trotz des Flächenrückgangs von Jahr zu Jahr mehr an Masse verlieren. Zum Beispiel sammeln sich freigesetzte Staubeinschlüsse zunehmend an der Eisoberfläche und lassen sie noch dunkler erscheinen, wodurch sich die Aufnahmefähigkeit für die Sonnenstrahlung weiter erhöht (Abb. 6). Außerdem



Abb. 6: Der Vernagtferner Mitte August 2003: Nahezu die gesamte Gletscherfläche ist dunkles Eis. Nur an den Rändern sind noch wenige Firnflächen auszumachen, welche aber ebenfalls schmelzen, erkennbar an den eiförmigen Strukturen.

führt der Rückgang der Schnee- und Eisflächen zu einem weiteren Anstieg der Frostgrenze, denn die durch die Schmelze in vergletscherten Gebieten reduzierte Erwärmung der bodennahen Luftschicht ergab in den Alpen etwas niedrigere Mitteltemperaturen im Vergleich zum Flachland. Das ständig ungünstiger werdende Verhältnis von vergletscherten zu schnee- und eisfreier Fläche führt somit zu einer beschleunigten Erwärmung der alpinen Region und damit zu einer

noch intensiveren Gletscherschmelze. Ein gegenüber der globalen Mitteltemperatur stärkerer Anstieg der lokalen Temperatur innerhalb der Alpen wird bereits beobachtet (Abb. 3a, S. 42).

Bewirtschaftung der Gletscher?

Die Bewirtschaftung von Gletschern z.B. durch den Schitourismus wird dann zum Problem, wenn durch Verschmutzung und mechanischer Beanspruchung das Reflexionsvermögen des Schnees vermindert und Oberflächeneigenschaften verändert werden. Dies kann lokal wegen der höheren Strahlungsauf-



Abb 7: Vergleichsansichten des Zugspitzplatt mit dem Schneeferner vom Gipfel der Zugspitze 2003 (oben) und 1890 (unten). Oben sichtbar die Schutzplanen im Bereich der Installationen für die Schitouristik.

Foto vom 10.8.2003 und Bildbearbeitung des Archivphotos: M. Weber

genommenes Problem zu sehen sein. Im Gegensatz dazu versuchen Betreiber von Schilifanagen durch Schneebewirtschaftung („snow farming“) lokal die Schmelze zu verlangsamen, indem zusätzlich Schnee z.B. unter die Schlepperanlagen hingeschoben oder für die „Halfpipe“ aufgehäuft und mit reflektierender, heller Folie abgedeckt wird, um dadurch die Abschmelzung der Gletscher zu verzögern. Diese Maß-

nahme und damit Schmelzwärme zu einer stärkeren Abschmelzung führen; es dürfte aber allgemein

eher als untergeordnetes Problem zu sehen sein. Im Gegensatz dazu versuchen Betreiber von Schilifanagen durch Schneebewirtschaftung („snow farming“) lokal die Schmelze zu verlangsamen, indem zusätzlich Schnee z.B. unter die Schlepperanlagen hingeschoben oder für die „Halfpipe“ aufgehäuft und mit reflektierender, heller Folie abgedeckt wird, um dadurch die Abschmelzung der Gletscher zu verzögern. Diese Maß-

nahmen dienen nur dem Schutz der installierten Anlagen, nicht jedoch zum Erhalt des Gletschers in seiner Gesamtheit, da sie nur lokal greifen und eine stark begrenzte Wirkung besitzen (Abb. 7).

Zusammenfassung

Die Veränderungen der Alpengletscher sind für Jedermann einsichtige Zeugnisse des Klimawandels. Die generelle Gletscherschmelze ist schon seit 150 Jahren im Gange, mit kurzen Erholungsphasen mit Gletschervorstößen um 1920 und in den 1970er bis 1980er Jahren. Gegenwärtig sind in heißen, trocken-

nen Sommern durch das Aufbrauchen der Eisreserven die Abflüsse aus dem Hochgebirge überdurchschnittlich und verhindern somit ein gravierendes Trockenfallen der Gebirgsflüsse. Sollten die Gletscher jedoch weitgehend verschwinden, würde diese Bezuschussung in Trockenzeiten ausbleiben. Die Wasserführung der Flüsse würde allein vom stark veränderlichen Niederschlagsangebot abhängen. Nicht zuletzt verarmen die Hochgebirgsregionen durch das Verschwinden der Gletscher in ihrem Erscheinungsbild und verlieren an Attraktivität für den Tourismus. Mitte der 1970er Jahre konnten im Mittel am Vernagtferner Zuwächse von 30 cm pro Jahr beobachtet werden. Allein um den Verlust von 2003 auszugleichen, wären somit sieben feuchte und kühle Jahre vom

Typ der 1970er Sommer erforderlich. Die Kompensation der Verluste der letzten 25 Jahre erfordert 50 verregnete Sommer, die aber keinesfalls mit der Einschätzung der Witterung von 2005 vergleichbar sind, sondern deutlich kälter waren.

Dr. Ludwig N. Braun und Dr. Markus Weber
Kommission für Glaziologie
Bayerische Akademie der Wissenschaften
Marstallplatz 8
D-80539 München
Tel. +49/(0)89/23031-1195
E-mail: ludwig.braun@lrz.badw-muenchen.de
E-mail: wasti.weber@lrz.badw-muenchen.de
www.glaziologie.de

Gletscher der Alpen - vom Anwachsen und Abschmelzen

Kurt Nicolussi

Gebirgsgletscher sind empfindliche Anzeiger für Klimaentwicklungen, die sich zuerst in Veränderungen der Schnee- und Eismasse und schließlich, modelliert durch die Gletscherdynamik, in Längen- und Größenschwankungen der Eisriesen niederschlagen. Die Längen Anpassungen der Gletscher an modifizierte "Ernährungsbedingungen", das Vorrücken bzw. Zurückschmelzen der Gletscherzungen, kann dabei Jahre und Jahrzehnte der Klimaentwicklung nachhinken. Dies wird gerade in der derzeitigen Situation sichtbar, die zwar durch einen deutlichen Rückgang der Eisfelder als Konsequenz des starken Anstieges der Sommertemperatur gekennzeichnet ist, die Ausdehnungen der Gletscher aber trotzdem noch nicht an die gewandelten Klimabedingungen adaptiert sind. Es ist daher einfach vorherzusagen, dass auch unter der Annahme von gleich bleibenden Temperatur- und Niederschlagsbedingungen, d.h. unter Verhältnissen wie in den letzten etwa 20 Jahren, der Eis- und Gletscherrückgang in den Alpen sich noch Jahre, teilweise gar mehrere Jahrzehnte fortsetzen wird.

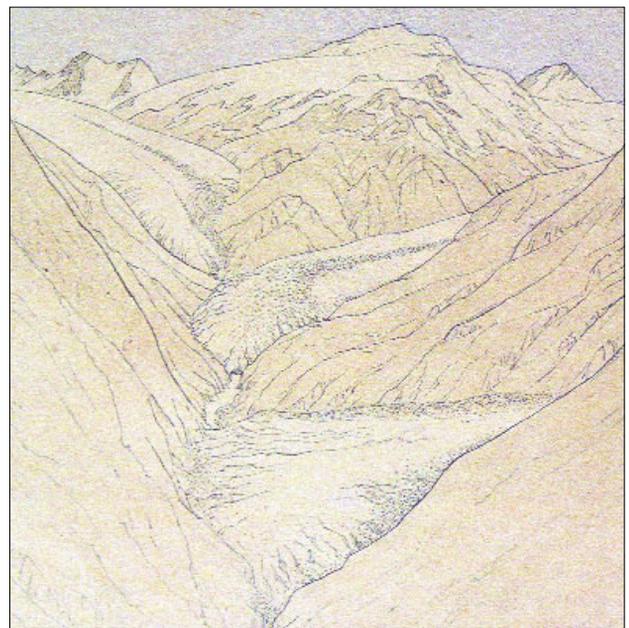
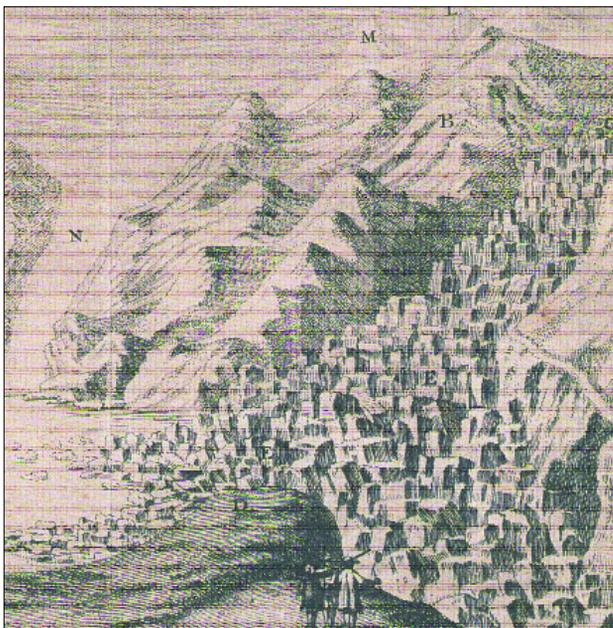
Doch ist die gegenwärtige Ausdehnung und Entwicklung der Gletscher eine außergewöhnliche, etwa DER schlagende Beweis für die anthropogene Beein-

flussung des Erdklimas? Der augenblicklich zu beobachtende Eisrückgang ist jedenfalls kein junges Phänomen sondern begann im Anschluss an einen Gletscherhochstand um das Jahr 1855 bzw. kurz danach. Unterbrochen wurde dieses Abschmelzen der Alpengletscher seit diesem Zeitpunkt nur durch vergleichsweise kurz andauernde stationäre Phasen bzw. Vorstöße gegen Ende des 19. Jahrhunderts, um 1920 bzw. um 1980. Doch manche, gerade große Alpengletscher, beispielsweise der Aletschgletscher in der Schweiz, machten diese Wiedervorstöße nicht mit sondern zeigen seit etwa 150 Jahren ein durchgehendes Rückschmelzen.

Beim allgemeinen Gletscherhochstand in der Mitte des 19. Jh. wiesen viele Alpengletscher die größte Eisausdehnung während der gesamten Nacheiszeit, d.h. während der letzten rund 11.000 Jahre, auf. Doch auch der Gletscherhochstand von „1850“ war keine außergewöhnliche Erscheinung, steht er doch am Ende einer rund 250 Jahre dauernden Periode, während der die Alpengletscher im Zuge von Vorstößen immer wieder ähnliche Eisausdehnungen erreichten. Teilweise wird dieser Zeitraum auch „Little Ice Age“ („Kleine Eiszeit“), die außergewöhnliche Dimension der damals erzielten Eisausdehnungen betonend, genannt. Am Vernagtferner in den Ötztaler Alpen sind beispielsweise vier große und ähnlich ausgedehnte Gletscherstände um 1600, 1680, 1775 und 1850 in diesem Zeitraum belegt (Abb. 1, S. 48). Doch wie „normal“ waren die Gletscherhochstände der Kleinen Eiszeit, wie außergewöhnlich ist der derzeitige Stand und Rückgang? Kann zur Bestimmung der Gletscherentwicklung für die letzten Jahrhunderte auf eine Rei-



Der mächtige Aletschgletscher in der Schweiz zieht sich seit über 150 Jahren unentwegt zurück.



he von historischen Quellen und Bilddokumenten (z.B. Abb. 1) zurückgegriffen werden, so fehlen solche Grundlagen für die früheren Jahrhunderte und Jahrtausende der Nacheiszeit. Hier muss auf naturwissenschaftliche Analysen übergegangen werden. Und gerade der gegenwärtige Gletscherrückgang ermöglicht neue Untersuchungen zu früheren Phasen geringer Eisausdehnung. Teilweise kommen nun Reste von Bäumen und anderem organischen Material, die möglicherweise schon vor Jahrtausenden im Zuge von Gletschervorstößen verschüttet wurden, frei und geben wichtige Hinweise zur ehemaligen Eis- und Gletscherausdehnung. Der Zeitraum des „Little Ice Age“ war danach nicht

die einzige Gletscherhochstandsperiode im vergangenen Jahrtausend, bereits vom 12. Jh. bis ins 14. Jh. rückten, mit Unterbrechungen, die Alpengletscher vor und erreichten auch ähnliche Ausdehnungen wie später. Vorangegangen war diesem Anwachsen der Gletscher im Hochmittelalter eine über 200 Jahre lange, ab etwa 840 n. Chr. einsetzende Periode generellen Gletscherrückganges und vergleichsweise geringer Eisausdehnung. Aber

Abb. 1: Der Vernagtferner während seiner Maximalstände in der „Kleinen Eiszeit“. Links oben: der Gletscher im Jahr 1601; rechts oben: 1678; links unten: 1772; rechts unten: 1848. Die Darstellung aus dem Jahr 1601 ist das älteste bekannte Bild eines Gletschers weltweit.

auch im ersten Jahrtausend nach der Zeitenwende lassen sich mehrere Gletschervorstoßphasen belegen und zeitlich genau bestimmen. Ein erstes Anwachsen der alpinen Eisfelder datiert in das 4. Jh., eine weitere Vorstoßphase in das späte 6. Jh. n. Chr. Die maximale Ausdehnung während des 1. Jh. n. Chr. erreichten die meisten Alpengletscher wohl um 835 AD. Auch für die beiden Jahrtausende vor der Zeitenwende sind eine Reihe von Gletschervorstößen, etwa um 1625, 1555, 715 und 637 v. Chr., dokumentierbar. Doch sind diese Vorstoßphasen oftmals getrennt durch lange Zeiträume vergleichsweise geringer, teilweise auch kleinerer Gletscherausdehnung als heute. Nachweisbar ist dies durch die Auffindung von Baumresten an Stellen, die erst während der letzten Jahrzehnte eisfrei wurden. Diese Hölzer belegen oftmals mehrere Jahrhunderte andauernde Phasen von Baumwachstum nahe den heutigen Eisrändern.

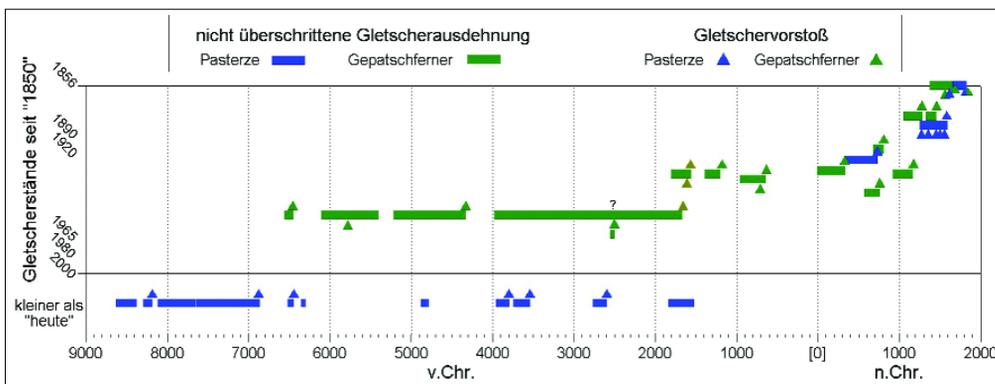


Abb. 2: Ergebnisse zur nacheiszeitlichen Entwicklung der beiden größten österreichischen Gletscher, Pasterze und Gepatschferner. Eingetragen sind nachgewiesene Gletschervorstöße (Dreiecke) bzw. Zeiträume, in denen Pasterze bzw. Gepatschferner eine bestimmte Mindestausdehnung (Balken) nicht überschritten haben. Aufgetragen ist auch die beobachtete Gletscherentwicklung bzw. einzelne Stände seit der Mitte des 19. Jahrhunderts. Für die frühe und mittlere Nacheiszeit sind für die Pasterze mehrere, teilweise Jahrhunderte umfassende Perioden mit einer geringeren Ausdehnung als „heute“ nachweisbar. Auch der Gepatschferner überschritt eine Ausdehnung, die der in der Mitte des 20. Jh. beobachteten Größe entspricht, Jahrtausende lang nicht. Für der letzten etwa 4.000 Jahre häufen sich jedoch die Belege für vermehrte und weiterreichende Gletschervorstöße, die in den mittelalterlichen und neuzeitlichen Hochständen kulminieren.

Lassen sich für die letzten rund 4.000 Jahre eine Reihe von Gletschervorstößen und auch Gletscherhochständen zeigen, so sind ähnliche Nachweise für den Zeitraum davor vergleichsweise selten. Zwar sind nach derzeitigem Forschungsstand auch Gletschervorstöße, beispielsweise um etwa 6900, 5750, 4300 v. Chr. erwiesen, während manche Gletscher auch neuzeitliche Ausmaße erreichten, doch ins-

gesamt dominieren für die frühe und mittlere Nacheiszeit die Hinweise auf deutlich, ja weit hinter die heutigen Eisgrenzen zurück geschmolzene Gletscher. An der Pasterze beispielsweise wurden in den 1990er Jahren wiederholt Baumreste mit mehreren hundert Jahrringen vom Gletscherbach unter dem Eis herausgespült. Diese „Gletscherbäume“ stammen aus der frühen Nacheiszeit und belegen lange Phasen des Eisrückganges (Abb. 2). Insgesamt sind jedoch die Studien zur nacheiszeitlichen Gletscherentwicklung in den Alpen, ihr Ablauf und ihre Ursachen, noch nicht abgeschlossen. Laufende Untersuchungen werden hier noch mehr Klarheit bringen.

Und wie weit waren die Gletscher in der Nacheiszeit bereits zurück geschmolzen? Dies kann nicht direkt erschlossen und untersucht werden, da mögliche Anhaltspunkte dafür noch tief unter dem Eis der heutigen Gletscher begraben sind. Doch lassen Abschätzungen annehmen,

dass die Eisfläche in den österreichischen Alpen in manchen Phasen der Nacheiszeit nur etwa 20 - 40 % der gegenwärtigen Ausdehnung betrug. Bedeuten diese Belege für lange Phasen vergleichsweise kleiner Gletscherausdehnung in der Nacheiszeit

„Entwarnung“ im Hinblick auf den gegenwärtigen Eisrückgang? Nein, keineswegs. Zwar sind die augenblicklichen Verhältnisse noch deutlich im Rahmen der nacheiszeitlichen Variabilität, aber solange die Ursachen für die natürlichen Schwankungen des Klimas und damit für das Wachsen und Schwinden der Alpengletscher nicht geklärt bzw. quantifizierbar sind, solange kann auch das Ausmaß der anthropogenen Beeinflussung des Gletscherrückganges nicht eindeutig bestimmt werden.

Ao. Univ.-Prof. Dr. Kurt Nicolussi
 Institut für Geographie
 Universität Innsbruck
 Innrain 52
 A-6020 Innsbruck
 Tel. +43/(0)512/507-5673
 E-mail: kurt.nicolussi@uibk.ac.at
 www.uibk.ac.at

Die Gletscher geben Neuland frei: Das Gletschervorfeld

Heinz Slupetzky

„Wo kommen denn die vielen Steine her?“ fragte einmal ein Bergwanderer, als er das mit Felsblöcken übersäte, kaum bewachsene Gelände sah. „Die hat der Gletscher hierher gebracht!“ wurde ihm erklärt.
„Und wo ist der Gletscher jetzt?“
„Zurückgegangen, um neue Steine zu holen“.

Neue Steine holen - die Aussage ist im Kern richtig. Gletscher sind einer ständigen Änderung unterworfen und können kleiner oder größer werden: Sie stoßen vor oder schmelzen zurück. Gleichzeitig damit ist die gesteinsabtragende Wirkung umschrieben: Das talwärts fließende Eis „transportiert“ Felsblöcke, Steine und Schutt mit und lässt sie nach dem Aus- und Rückschmelzen liegen. In ihrer regelmäßigsten Form werden diese Ablagerungen „Moränenwälle“ genannt und zeichnen die Gletscherzunge zum Zeitpunkt der größten Ausdehnung nach: Vorne als „Stirnmoräne“ und an den Rändern als „Seitenmoränen“. Gegenwärtig findet man bei allen Alpengletschern innerhalb solcher Moränenwälle einen mehr oder weniger großen Bereich eisfrei gewordenen Geländes: Das so genannte Gletschervorfeld. Solange es den Gletscher gibt, sind er und sein Vorfeld untrennbar - wie Tag und Nacht - miteinander verbunden.

Was ist ein Gletschervorfeld?

Der von den zurückweichenden Gletschern „freigegebene“, seit ca. 1850 eisfrei gewordene Bereich wird als „Gletschervorfeld“ bezeichnet. Diesen Terminus hat Hans Kinzl, der Innsbrucker Alpengeograf und langjährige 1. Vorsitzender des OeAV, im Jahre 1949 in die Fachliteratur eingeführt. Er versteht darunter „dieses vom Gletscher bei seinem Rückzug freigegebene Neuland“.

Gletschervorfelder sind etwas Besonderes. Sie sind nicht nur ein paar Quadratkilometer mehr an Ödland im Hochgebirge. Beim Gletscherrückzug vollzieht sich die Ge-

burt einer neuen Landschaft, ja, es ist die jüngste, zunächst noch unberührte und unveränderte Ur-Landschaft im Hochgebirge; beginnt doch in den eisfrei gewordenen Gletschervorfeldern fast überall die Entwicklung bei Null. Die frischen Ablagerungen (Moräne, Felsblöcke, Geröll, Geschiebe, Sand, usw.) müssen sich erst konsolidieren, um geeignete Substrate zu bilden, natürliche Böschungswinkel müssen entstehen, um der Gravitation stand zu halten. Selektiert durch das raue Hochgebirgsklima wandern die ersten Pflanzen ein. Diese so genannten Pioniere leiten die spätere Entwicklung zu Pflanzengemeinschaften ein. Es braucht dann längere Zeit, bis erste Gehölze aufkommen in Abhängigkeit von der Höhen- bzw. „Tiefen-“Lage und der umgebenden Vegetation. Die Flora ist Wegbereiter und Voraus-

Das Gletschervorfeld des Ödenwinkelkeeses im Stubachtal, Hohe Tauern (mit der Rudolfshütte). 1850 stieß der Gletscher am Fuße des Hanges an (rechts des Wasserfalles) und hinterließ die Stirnmoräne. Der junge moränenbedeckte Talboden wird vom aktiven Gletscherbach durchschnitten.



setzung für das Einwandern der Fauna. Alles zusammen macht ein Gletschervorfeld zu etwas Besonderem innerhalb der Hochgebirgslandschaft.

Seit wann gibt es das Gletschervorfeld?

Zwischen dem 17. und 19. Jh. stießen die Alpengletscher weit vor und viele erreichten um die Mitte des 19. Jhs. ihre größte Ausdehnung. Die dazugehörigen Moränen werden kurz als „1850er“-Moränen bezeichnet und gehen auf die jüngsten so genannten „neuzeitlichen Gletschervorstöße bzw. Gletscherhochstände“ zurück. Die kühle Klimaphase zwischen dem 14. und der Mitte des 19. Jhs. wird gletschergeschichtlich - aus Nordamerika kommend - auch als „Little Ice Age“ („Kleine Eiszeit“) bezeichnet. Die kahlen Schutt- und Geröllfelder, die die zurückschmelzenden Gletscher hinterließen, hoben sich noch in den Jahren und Jahrzehnten nach 1850 sehr scharf von der Umgebung ab. In der Gegenwart verwischt sich zumindest visuell der Unterschied mehr und mehr zwischen dem jüngst gletscherbedeckten und jahrtausendlang eisfreien Gelände durch die dichter werdende Vegetation; auch meist nur noch in Resten vorhandene ältere Moränenwälle sind überwachsen.

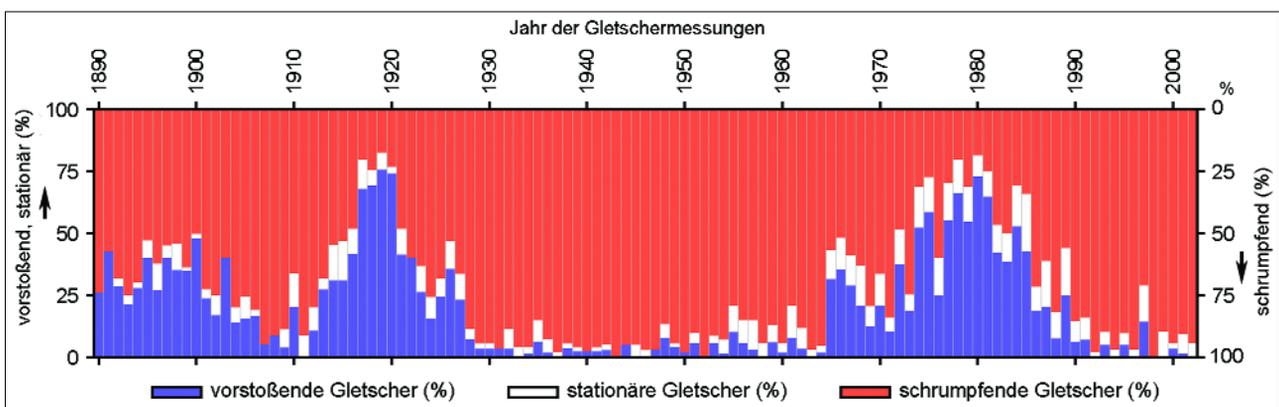
Der Gletscherrückgang begann um 1850 und setzt sich, nur manchmal unterbrochen, bis heute fort. Kurze Vorstöße gab es um 1920 und um 1980. Jeweils etwa 2/3 der Alpengletscher stießen zu dieser Zeit vor. Daher sind in fast allen Gletschervorfeldern die „1920er-Moräne“ und die „1980er-Moräne“ zu finden. Seltener und manchmal nur bei wenigen Gletschern sind kleinere Moränen aus der Zeit um 1880 und 1890/1900 aufgrund nur kurzer „Erho-

lungsphasen“ erhalten.

In den Ostalpen hat sich schon 1879 der Alpengeograph Eduard Richter um den Aufbau eines regelmäßigen Gletschermessdienstes bemüht und dafür damals den D.u.OeAV gewonnen. Die Messreihe des Oesterreichischen Alpenvereins beginnt daher schon 1890 und wird bis heute weitergeführt; Gernot Patzelt, Innsbruck, ist gegenwärtig der wissenschaftliche Koordinator der AV-Längenmessungen. Die AV-Messreihe zählt gemeinsam mit der Schweizer Reihe zu den beiden längsten weltweit. Die jährlichen Messungen an rund 110 Gletschern sind eine überaus wertvolle, objektive Datengrundlage und ein Baustein zur Beurteilung der Auswirkungen der Klima- und Umweltveränderung in den Alpen.

Die Fragen der Klima- und Gletscheränderungen beschäftigen Glaziologen, Geographen und Meteorologen (v.l.n.r. Dipl.-Met. Dr. hc. Oskar Reinwarth, München; Univ.-Prof. Dr. Gernot Patzelt, Innsbruck; Prof. Dr. Hans Röthlisberger, Uerikon, Schweiz; Univ. Prof. Dr. Michael Kuhn, Innsbruck). Obergurgl 2000.

Das Verhalten der österreichischen Gletscher 1890-2002 (nach G. Patzelt und M. Aellen, 1990; ergänzt von G. Patzelt); deutlich erkennbar sind die Vorstoßperiode um 1920 und um 1980.

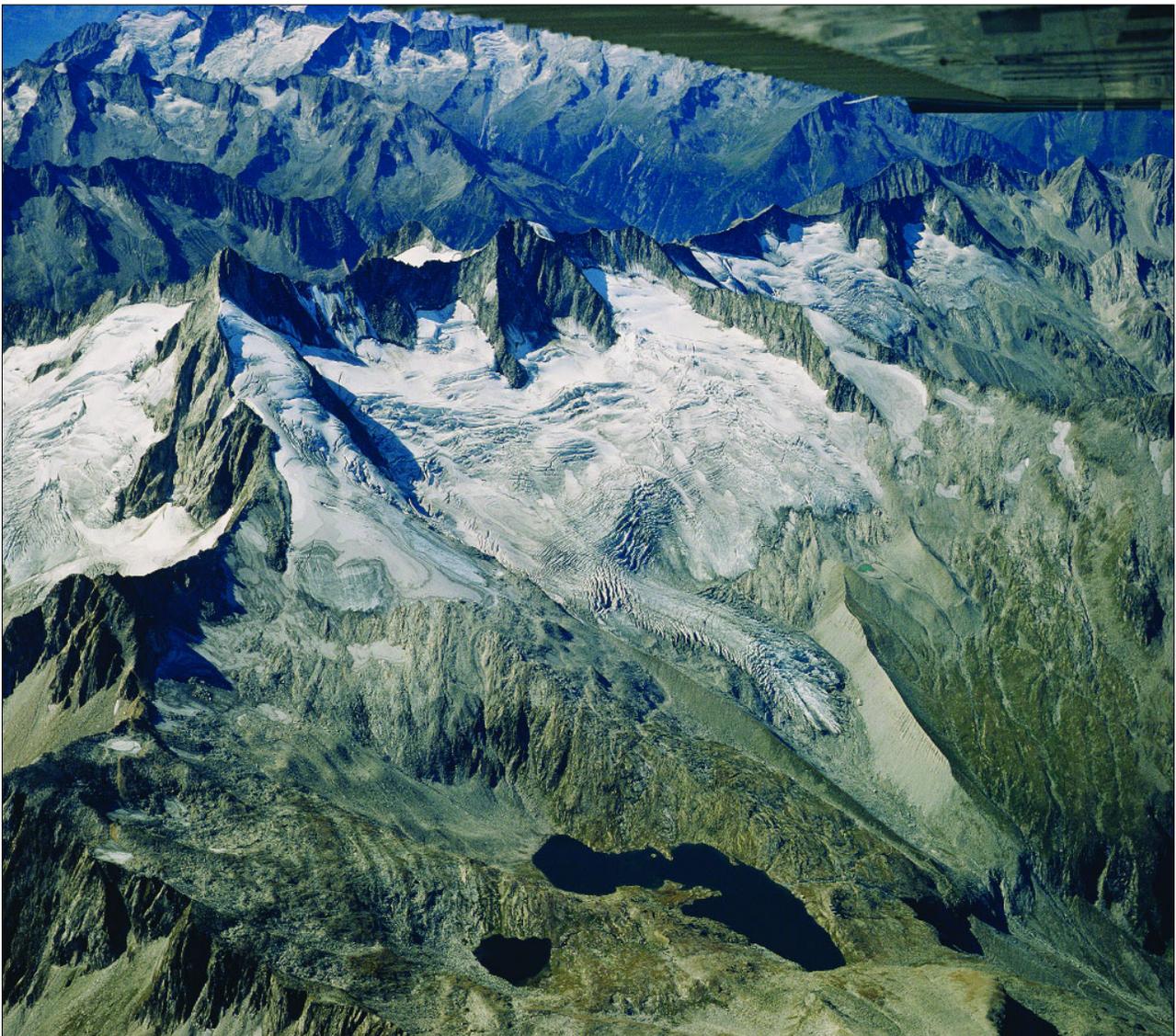


Die Vielfalt der Gletschervorfelder

So wie kein Gletscher dem anderen gleicht und jeder seine Eigenheiten hat, findet man kein Gletschervorfeld genau gleich ein zweites Mal. Viele Parameter sind dafür verantwortlich. Ein wichtiger Faktor ist der unterschiedliche Gletschertyp. Je nach Gelände, also abhängig von der Topographie, in die der Gletscher eingebettet liegt, können diese verschieden sein. So hinterlassen Talgletscher mit einer Gletscherzunge nach dem Wegschmelzen ein langgestrecktes Vorfeld, den „Abdruck“ der ehemaligen Zunge; Kargletscher haben ein kleineres, kurzes Vorfeld, Plateaugletscher ein breites, flächiges. In Abhängigkeit von übergeordneten Klimafaktoren und regionalen/lokalen Einflüssen gibt es Gletscher in höher oder tiefer gelegenen Regionen; ein „Maß“ dafür ist die „Schneegrenze“. Diese (klimatische)

Schneegrenze liegt z.B. in den inneralpinen, trockeneren und wärmeren Gebirgsgruppen, wie die Öztaler Alpen, höher als in den niederschlagsreicheren Hohen Tauern, jedoch besonders tief in den feuchten Nordalpen. Damit liegen die Bereiche der Vergletscherung unterschiedlich hoch. Der Klimafaktor ist auch ganz entscheidend für die Höhenstufung der Vegetation. Je nach Höhenlage der Gletscher und der Vegetationsstufen zueinander entstehen Abwandlungen in der Wiederbesiedlung der Gletschervorfelder. In den Westalpen reichten die Zungen vieler Gletscher bis in den Wald hinein, in den Ostalpen sind es

Die „Schneegrenze“, die das „Nährgebiet“ (helle Schneefläche) vom „Zehrgebiet“ trennt, ist keine scharfe Grenze. Sie liegt oft recht hoch, wie 1986 beim Wildgerloskees (Reichenspitzzgruppe) bei 2.850 - 2.950 m. Das Relief verursacht verschiedene Gletschertypen. Die scharfkantigen Ufermoränenwälle geben einen Eindruck von der langen, schmalen Gletscherzunge des Wildgerloskeeses von 1850.



vergleichsweise wenige, z.B. Gepatschferner und die Pasterze, die die Waldgrenze berührten. Das Einwandern der Pflanzen verläuft z.B. im Vorfeld eines Kargletschers, der hoch oben an der Obergrenze des alpinen Rasens endet, anders.

Ein wichtiges Merkmal, das individuelle Unterschiede schafft, ist die Gestaltung des ehemaligen Gletscherbettes. Gletscherzungen, die in einem Felsbecken geendet haben, hinterlassen zunächst eine Ebene mit Ablagerungen (Akkumulationen). Manche zurückweichende Gletscher geben enge Schluchtstrecken frei. Wieder andere haben glaziale Erosionslandschaften mit Gletscherschliffen und Rundbuckeln auf anstehendem Fels geschaffen. Im-

nen Formenschatzes. Gar nicht zu reden von der Arbeit des fließenden Wassers. Die Gletscherbäche überprägen das freigewordene Gelände und sind ein wichtiger dynamischer Faktor in der Gestaltung des neu geborenen Gletschervorfeldes.

Die Vorfelder werden größer - wie lange noch?

Seit den 1980er Jahren ist ein verstärkter Gletscherschwund zu beobachten. Immer häufiger wird auch in Fachkreisen ein Szenarium einer Entgletscherung der Alpen angedacht und die Frage gestellt, wie schnell dies eintreten könnte. Von großer Bedeutung dabei ist: Waren die Alpengletscher schon einmal verschwunden? Oder wäre dies das erste mal? War es schon einmal so warm wie in der Gegenwart?

Nur wenn der Betrachtungszeitraum von wenigen Jahrhunderten, der die Gletschervorstoßphase der „Kleinen Eiszeit“ und die nachfolgende Rückschmelzphase umfasst, auf einen deutlich größeren Zeitraum erweitert wird, ist einer Antwort näher zu kommen. In den Jahrtausenden nach der Eiszeit gab es immer wieder Gletschervorstöße und dazwischen -rückzüge, ja die Alpengletscher waren schon kleiner als heute und wohl sogar schon großteils verschwunden. Sollte sich das in der (nahen?) Zukunft wiederholen, würde es Gletscher-„Vorfelder“ jeweils nur bis zum „vorletzten Tag“, an dem noch ein kleiner Rest an Gletschereis besteht, geben. Ab dann gäbe es nur noch ehemalige Vorfelder.

Keiner kann jedoch vorhersagen, ob es nicht umgekehrt kommen könnte. Ein neuer Vorstoß der Gletscher würde dazu führen, dass sich die Gletscher das „zurückholen“, was sie „freigegeben“ haben. Die Vorfelder würden immer kleiner werden, bis sie wieder völlig eisbedeckt und damit verschwunden wären, sollte der Vorstoß bis zur 1850er-Moräne reichen.

Beides sind denkbare Szenarien. Gegenwärtig weist mehr auf eine Fortsetzung der weltweiten Klimaerwärmung hin und damit auf ein weiteres Schwinden der Gletscher. Faktum ist: Die Gletschervorfelder ändern sich gegenwärtig ständig und werden im Allgemeinen aufgrund des anhaltenden Gletscherrückganges immer größer.



Von 1958 bis 1979 bildete sich beim Rückzug der Pasterze ein seichter See, der mehr und mehr verlandet. Viele Tonnen Geschiebe und Schwebstoff werden sedimentiert und/oder weitertransportiert. Das natürliche Becken sollte durch einen Damm vergrößert werden um die Sedimentation im Kraftwerksspeicher Margaritze zu verhindern.

mer wieder entstehen auch neue Seen, die je nach örtlichen Bedingungen als solche bestehen bleiben und in vielen Farbvariationen von Dunkelgrün über Türkis bis Blau leuchten, wie beim Kees See und „Unterer Boden

See“ beim Stubacher Sonnblickkees. Oder sie können auch verlanden, wie der Sandersee bei der Pasterze.

Im Hochgebirge der Alpen findet man eine außerordentlich große Vielfalt des glazialmorphologischen, also vom Gletscher und seiner Tätigkeit geschaffene-



Gletschervorfelder - gefährdete Naturlandschaften?

Sind die Gletschervorfelder des Hochgebirges tatsächlich nahe einer Urlandschaft? Solange man die natürlich vor sich gehenden Prozesse und Vorgänge bei einem Gletscher und in seiner Umgebung meint, mag dies noch zutreffen. Bezieht man jedoch den Menschen und seine Tätigkeit mit ein, schränkt sich der Kreis der ursprünglichen Gletscher und Gletschervorfelder, für die dieses Prädikat zutrifft, schon erheblich ein. Der mittelalterliche Bergbau hatte die Region der Gletscher erreicht, z.B. findet man in Gletschervorfeldern der Hohen Tauern Holzreste aus dieser Zeit. Die traditionelle almwirtschaftliche Nutzung über der natürlichen Waldgrenze - enorme Kahlschläge für die Holznutzung haben diese stark herabgedrückt - hat in vielen Gebieten schon früh die Beweidung bis unweit der Gletscherenden vordringen lassen. So beweisen z.B. Dokumente und Grenzkarten aus dem Jahre 1759 Streitigkeiten um die Nutzungsrechte eines eisfrei und beweidbar gewordenen Gebietes beim Walcher

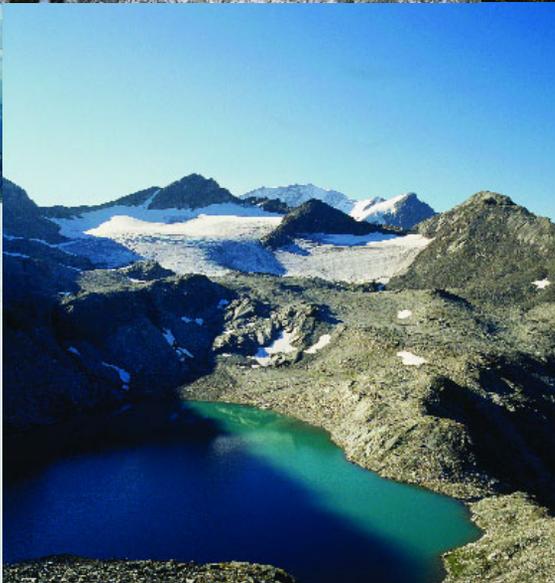
Kees im Fuscher-tal. Ist ja nicht jedes Gebiet „ed“, also nicht nutzbar, wie im Ödenwinkel mit dem Ödenwinkel Kees im Stubachtal. Überdies haben auch die Einflüsse der Gegenwart nicht vor den Gletschervorfeldern Halt gemacht, es findet eine permanente Eutrophierung durch die Luft statt.

Gletschervorfelder geben uns daher eine Vorstellung davon, wie Urlandschaften einmal ausgesehen haben (könnten). Sie sind jedenfalls Naturlandschaften, die hauptsächlich von natürlichen Faktoren und Prozessen bestimmt werden - solange der Mensch nicht eingreift.

Stärkere Veränderungen in den Gletschervorfeldern nehmen jedoch in unserer Gegenwart stark zu, vor allem aufgrund technischer Eingriffe oder als Folge von (Gletscher-)Erschließungen.

Nicht nur die Gletscher sind daher bedroht, sondern auch die Gletschervorfelder!

Das Ödenwinkelkees (Stubachtal) und sein Vorfeld gehören zu den besterforschten im Nationalpark Hohe Tauern. In der Nacheiszeit reichte der Gletscher mehrmals bis nahe an die Eisbodenlacke (im Vordergrund), zuletzt um 1850. Das Eiskögele, 3.434 m, ist der Dreiländerberg im Nationalpark.



Gletschervorfeld - ein neuer Lebensraum entsteht

Brigitta Erschbamer

Mit dem Gletscherrückzug im Alpenraum eröffnet sich die einmalige Gelegenheit, das Entstehen eines Ökosystems von der Erstbesiedlung an zu beobachten. Gletschervorfelder stellen dabei ein Freilandlabor dar (Matthews 1992), in dem nicht nur Richtung und Dynamik der Entwicklung verfolgt, sondern auch grundlegende ökologische Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten getestet werden können. Nirgends wird uns so klar vor Augen geführt, welche Zeiträume es braucht, bis eine Pflanzengesellschaft entsteht. Die Vegetationsentwicklung auf den Moränenflächen kann als Primärsukzession bezeichnet werden: Pionierpflanzen treten als erste Siedler auf, Folgearten gesellen sich auf etwas älteren Moränen dazu und leiten die Bildung von Pflanzengesellschaften ein. Auch sie sind im wesentlichen Schutt- und Felsspaltenpflanzen der alpinen Stufe. Die Pioniere verschwinden in zunehmendem Maße und mit steigendem Moränenalter treten späte Sukzessionsarten auf, d.h. Pflanzen der alpinen Rasen, der Zwergstrauchheiden oder der Vegetation an der Waldgrenze. Sie stellen das letzte Glied in der Entwicklung dar und bestimmen die Schlussgesellschaft. Gletschervorfelder sind damit einmalige Lebensräume, die einer natürlichen Dynamik unterliegen.

Vegetationsentwicklung

Eisfrei gewordene Flächen werden relativ rasch besiedelt. Bereits nach drei bis fünf Jahren treten erste Blütenpflanzen auf. Als Pioniere sind interessanterweise meist nicht Moose oder Flechten von entscheidender Bedeutung, sondern in erster Linie Schuttpflanzen der alpinen Stufe. In vielen alpinen Gletschervorfeldern leiten der Bachsteinbrech (*Saxifraga aizoides*), das Einblütige Hornkraut (*Cerastium uniflorum*) und der Säuerling (*Oxyria digyna*) die Besiedelung ein (LÜDI 1958, ZOLLITSCH 1969, TEUFL 1981, BURTSCHER 1982). Im Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Obergurgl, Ötztal, Tirol, Abb. 1) erscheinen auf gut durchfeuchteten Jungmoränen der Bachsteinbrech und auf feinsandigen, trockeneren Flächen der Rote Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia*) als Pionierpflanzen. Das Besiedelungsmuster zeigt oft große Heterogenität und wenig Gleichläufigkeit der Entwicklung, vor allem wenn kleinere und größere Störun-

Abb. 1: Gletschervorfeld des Rotmoosferners in Obergurgl (Ötztal, Tirol). Die Endmoräne des Gletscherstandes 1858 ist auf der orographisch linken Talseite gut sichtbar.

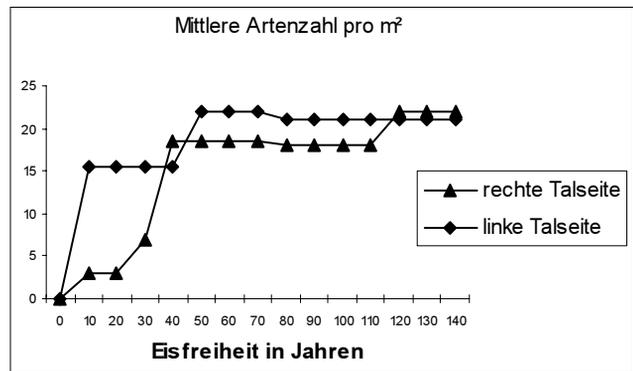




Bachsteinbrech, Roter Steinbrech und Einblütiges Hornkraut (v.o.) sind die ersten Blütenpflanzen, die die Besiedelung des Gletschervorfeldes einleiten.

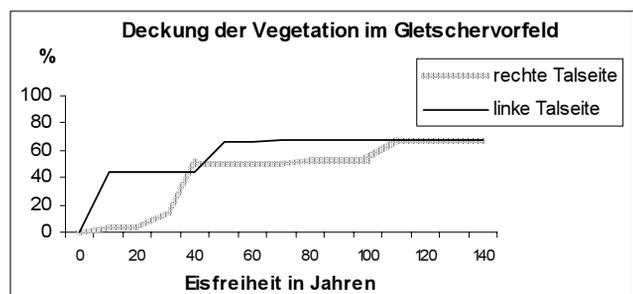
gen (Seitenbäche, Lawinen, Erdrutsche, Ausuferung des Gletscherbaches ...) auftreten. Das Beispiel aus dem nordost-exponierten Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Ötztal, Tirol) zeigt

sehr deutlich eine unterschiedliche Entwicklung der beiden Talseiten (Abb. 2). Auf der sonnigen orographisch rechten Talseite weist eine bis zu 25 Jahre eisfreie Fläche nur drei Blütenpflanzen pro m² auf, während auf der schattigen orographisch linken Tal-



seite bereits 15 Arten vorhanden sind (Mallaun 2001). Hier wird von den Steilhängen oberhalb des Gletschervorfeldes vermutlich Pflanzenmaterial ins Gletschervorfeld eingetragen und die Flächen dürften auf Grund der Schattlage feuchter sein. Dies führt zu einem gewaltigen Vorsprung in der Entwicklung und in der Gesamtdeckung der Vegetation auf dieser Talseite (44 % pro m² werden bereits von Pflanzen abgedeckt, Abb. 3). Innerhalb von 40 - 50 Jahren steigt die Artenvielfalt auch auf der orographisch rechten Talseite kräftig an (18 Arten pro m², Abb. 2). Dasselbe gilt für die Gesamtdeckung (51 % pro m², Abb. 3). Auf den ältesten Moränen sind die Artenzahlen nur geringfügig höher (22 bzw. 21 Arten pro m² auf 140 Jahre eisfreien Flächen, Abb. 2).

Abb. 2: Mittlere Artenzahlen pro m² entlang von Längstransekten auf der orographisch rechten bzw. linken Talseite des Gletschervorfeldes des Rotmoosferners (Oberurgul, Ötztal, Tirol), 2.300 - 2.450 m NN (Daten aus: Mallaun 2001).



140-150 Jahre Eisfreiheit ließen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners einen Initialrasen entstehen, d.h. einen grasreichen Bestand, der aber bei weitem noch nicht mit einem ausgereiften alpinen Rasen gleichzusetzen ist. Die Bodenentwicklung ist noch sehr dürftig und geht über eine 4 cm mächtige Humusschicht kaum

Abb. 3: Mittlere Deckung in den 1 m² großen Aufnahmeflächen entlang von Längstransekten auf der orographisch rechten bzw. linken Talseite des Gletschervorfeldes des Rotmoosferners (Oberurgul, Ötztal, Tirol), 2.300 - 2.450 m NN (Daten aus: Mallaun 2001).

hinaus (ERSCHBAMER et al. 1999). Es stellt sich natürlich die Frage, was hier - auf 2.300 m Meereshöhe - als Schlussgesellschaft zu erwarten wäre. Eine Zwergstrauchheide wie sie außerhalb des Gletschervorfeldes auf den Seitenhängen des Rotmoostales vorkommt, dürfte wohl am ehesten in Frage kommen. Die großen Gletschervorfelder der Alpen wie z.B. jene des Morteratsch-, Aletsch- oder Rhonegletschers weisen als späte Entwicklungsstadien Zwergstrauchheiden, Grünerlengebüsche mit Hochstauden oder den Lärchen-Zirbenwald als Schlussgesellschaften auf (BURGA 1999, FRIEDEL 1938, RICHARD 1975).

Ökologische Besonderheiten

Damit eine rasche Besiedelung der vom Eis befreiten Flächen erfolgen kann, müssen Diasporen (= Samen, Früchte, vegetative Verbreitungseinheiten) aus der näheren und fernerer Umgebung einwandern und die ersten Siedler müssen sich an Ort und Stelle gut vermehren können. Pionierpflanzen weisen in der Regel sehr viele, kleine Samen auf. Für den Bachsteinbrech wurden bis zu 474 Samen pro Frucht und bis zu 9.700 Samen pro Pflanze festgestellt (MARCANTE unveröff.). Das Gewicht eines dieser Samen beträgt nur 0,049 mg (SCHWIENBACHER & ERSCHBAMER 2002), d.h. die Samen werden durch den Wind auf den jungen Moränenflächen ausgebreitet. Wenn genügend Bodenfeuchtigkeit vorhanden ist, keimen die Pionierarten sehr gut. So wurden z.B. für den Bachsteinbrech durchschnittlich 237 Keimlinge pro m² gezählt (MARCANTE unveröff.). Schutzstellen sind für die Keimung absolut notwendig, d.h. Keimlinge kommen vor allem in bereits vorhandenen Pflanzenpolstern oder in deren Nähe auf. Aber auch Steine ab einem Durchmesser von 2 cm stellen Schutzstellen dar (NIEDERFRINIGER, SCHLAG & ERSCHBAMER 2000). In bewachsenen Flächen, die seit ca. 30 Jahren eisfrei waren, wurden 3 - 12 mal mehr Keimlinge festgestellt im Vergleich zu unbewachsenen Flächen (NIEDERFRINIGER, SCHLAG & ERSCHBAMER 2000). Etwa die Hälfte der Keimlinge stirbt jedoch nach wenigen Tagen oder Wochen und nur ein äußerst geringer Teil überlebt den ersten Winter. Es verwundert daher nicht, dass die Erstbesiedelung ohne zusätzlichen Eintrag von Pflanzen- und Rasenfragmenten aus Gebieten außerhalb des Gletschervorfeldes durch Lawinen, Erdbeben, Bäche zunächst nur sehr zögerlich beginnt (siehe Abb. 2, S. 57).

Entwicklung der Fauna

Auch die Fauna zeigt innerhalb der ersten Jahr-



zehnte nach dem Abschmelzen des Eises eine rasche Entwicklung. Ähnlich wie bei der Flora erreicht die Artenvielfalt (Individuen/ m²) ihr jeweiliges Maximum auf etwa 50 Jahre eisfreien Flächen und steigt auf den älteren Moränenflächen nicht mehr weiter an (KAUFMANN et al. 2002). Interessanterweise konnten auf den etwa 4 Jahre eisfreien Pionierflächen Räuber festgestellt werden (Laufkäfer, Spinnen, Weberknechte, KAUFMANN 2001, Abb. 4). Im Vergleich zur pflanzlichen Besiedelung, die mit drei Arten startet, schlägt die Artenvielfalt der wirbellosen Tiere sofort mit 15 Arten zu Buche (KAUFMANN & RAFFL 2002). Nach 50 Jahren Eisfreiheit sind alle wesentlichen wirbellosen Tiergruppen vorhanden, mit Ausnahme der Regenwürmer. Diese treten erst in ca. 90 Jahre alten Moränen in Erscheinung.

Abb. 4: Gletscherweberknecht (*Mitopus glacialis*) und Laufkäfer (z.B. *Nebria jockischii*) gehören zu den Erstbesiedlern des Gletschervorfeldes.

Schutzwürdigkeit

Entwicklung und Dynamik lassen erahnen, wie sensibel der Lebensraum Gletschervorfeld ist. Lawinen oder ausufernde Bäche werfen die Primärsukzession um Jahrzehnte oder sogar um mehr als ein Jahrhundert zurück und die Besiedelung mit Pionier-, Folge-



Abb. 5: Der Alpen-Wundklee (*Anthyllis alpestris*) scheint im Gegensatz zu anderen Blütenpflanzen von der Temperaturerhöhung zu profitieren.

und späten Sukzessionsarten startet von Neuem. Unter den derzeitigen Klimabedingungen lau-

fen die Wachstumsprozesse der meisten Arten sehr langsam ab. Der Bachsteinbrech produziert vor Ort in 100 Tagen lediglich 0,64 mg Biomasse (= Trockengewicht der ober- und unterirdischen Pflanzenteile), während er bei optimalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen in einer Klimakammer 8,11 mg erreicht. Die fortschreitende Klimaerwärmung könnte also die Wachstumsprozesse beschleunigen und die Geschwindigkeit der Primärsukzession im Gletschervorfeld verändern (ERSCHBAMER 2001). Aber nicht alle Pflanzen reagieren auf höhere Temperaturen gleich gut. Die Schmetterlingsblütler (Moränenklee, Alpen-Wundklee, Abb. 5) scheinen durch eine Temperaturerhöhung sehr stark zu profitieren, während Pionierpflanzen (z.B. Edelrauten) ihr Wachstum nicht steigern können (ERSCHBAMER 2005).

Das Gletschervorfeld bietet sich auf jeden Fall als Modell an, um die Folgen des Klimawandels im Hochgebirge zu studieren und Prognosen für die Zukunft zu erstellen. Um dieses aufgeschlagene Lehrbuch der Vegetationsentwicklung beobachten zu können, ist es notwendig, dass von Menschen oder Weidetieren bedingte Störungen unterbleiben. Der Schutz muss sich auf das gesamte Gletschervorfeld mit seinen Moränen, Umlagerungsflächen, Fließgewässern und auf seine natürlichen Einflussfaktoren beziehen.

Literatur

- Burga, C.A. (1999): Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch (Switzerland). *Appl. Veg. Sci.* 2: p. 17-24.
- Burtscher, M. (1982): Zur Vegetation und Flora zweier Gletschervorfelder im Venedigergebiet. Dissertation Univ. Innsbruck.
- Erschbamer, B. (2001): Responses of some Austrian glacier foreland plants to experimentally changed microclimatic con-

- ditions. In: Walther, G.-R., C.A. Burga & P.J. Edwards (eds.) "Fingerprints" of climate change. Kluwer Academic/Plenum Publ., New York: p. 263-279.
- Erschbamer, B. (2005): Winners and losers of climate warming in alpine successions. *Global Change Biology*. Eingereicht.
- Erschbamer, B., W. Bitterlich & C. Raffl (1999): Die Vegetation als Indikator für Bodenbildung im Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Obergurgl, Ötztal, Nordtirol). *Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck* 86: S. 107-122.
- Friedel, H. (1938): Boden und Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rhonegletschers. *Ber. Geobot. Inst. ETH Zürich* 1937: S. 65-76.
- Kaufmann, R. (2001): Invertebrate succession in an alpine glacier foreland. *Ecology* 82: p. 2261-2278.
- Kaufmann, R., M. Fuchs & N. Gosterxeier (2002): The soil fauna of an alpine glacier foreland: colonization and succession. *Arct., Antarct., and Alp. Res.* 34: p. 242-250.
- Kaufmann, R. & C. Raffl (2002): Diversity in primary succession: The chronosequence of a glacier foreland. In: Körner, C. & E. Spehn (eds.) *Global Mountain Biodiversity: A Global Assessment*, Parthenon, London: p. 177-190.
- Lüdi, W. (1958): Beobachtung über die Besiedelung von Gletschervorfeldern in den Schweizer Alpen. *Flora* 146: S. 386-407.
- Mallaun, M. (2001): Verlauf der Primärsukzession in einem zentralalpiner Gletschervorfeld (Ötztaler Alpen, Tirol). Diplomarbeit Univ. Innsbruck.
- Matthews, J.A. (1992): The ecology of recently-deglaciated terrain. A geoecological approach to glacier forelands and primary succession. Cambridge Univ. Press, Cambridge u.a.
- Niederfriniger, R. Schlag & B. Erschbamer (2000): Germination and Establishment of Seedlings on a Glacier foreland in the Central Alps. *Arc. Antarc. Alp. Res.* 32: p. 270-277.
- Richard, J.L. (1975): Dynamique de la végétation au bord du grand glacier d'aletsch (Alpes suisses). In: Schmidt, W. (Hrsg.) *Sukzessionsforschung*. J. Cramer, Vaduz: S. 189-209.
- Schwiabacher, E. & Erschbamer, B. (2002): Longevity of seeds in a glacier foreland of the Central Alps - a burial experiment. *Bull. Geobot. Inst. ETH* 68: p. 63-71.
- Teufel, J. (1981): Die Vegetationsgliederung in der Umgebung der Rudolfshütte und des Ödenwinkelkees-Vorfelds. Dissertation Univ. Salzburg.
- Zollitsch, B. (1969): Die Vegetationsentwicklung im Pasterzenvorfeld. *Wiss. Alpenvereinshefte* 21: S. 267-290.

Ao. Univ.-Prof. Dr. Brigitta Erschbamer
 Institut für Botanik
 Universität Innsbruck
 Sternwartestraße 15
 A-6020 Innsbruck
 Tel. +43/(0)512/507-5954
 E-mail: brigitta.erschbamer@uibk.ac.at
 www.uibk.ac.at

Gletscherbäche - faszinierendes Leben in extremen Lebensräumen

Leopold Füreder

Die Ökosysteme der Hochgebirge gelten als Extrem-Ökosysteme, beurteilt man sie nach der Ausprägung und Wirkung der klimatischen, meteorologischen und physikalischen Faktoren. Die Lebewelt solcher Regionen findet man durch unterschiedlichste Strategien und Strukturen an diese spezielle Situation angepasst. Oft werden die Land- und Gewässersysteme wegen ihrer Artenarmut als nur bedingt wertvoll bezeichnet, so dass deren Nutzung gerechtfertigt oder weniger dramatisch erscheint. Wegen der bereits in manchen Ländern weit fortgeschrittenen Einbeziehung der aquatischen und terrestrischen Lebensräume in gewinnorientierte Wirtschaftsinteressen, sei hier der Gletscherbach als eines dieser Extremökosysteme genauer betrachtet, und einige faszinierende abiotische und biotische Besonderheiten dargestellt. Die Lebewelt - obwohl artenarm im Vergleich zu tiefer liegenden und weniger dynamischen Fließgewässern - ist reich an Spezialisten mit zahlreichen, unterschiedlichsten Anpassungen. Klimaveränderungen aber auch zunehmender Nutzungsdruck setzen den Gletscherflüssen zu, zahlreiche, meist winzige Spezialisten sind gefährdet, die optimal angepasste Artengemeinschaft in ihrer Zusammensetzung und Existenz bedroht.

Fließgewässer, insbesondere Gletscherflüsse, sind auffällige und wesentliche Bestandteile alpiner Landschaften, denen als verbindende Lebensadern zwischen einerseits hochalpinen Eis- und Schneemassen sowie alpinen Graslandschaften und andererseits den natürlichen, meist aber menschlich geprägten Lebensräumen in tieferen Lagen große Bedeutung zukommt. Der Gletscherbach ist nur eine von vielen Kostbarkeiten des Hochgebirges und der Gebirgslandschaften, welche die Einmaligkeit und daher auch die touristische Attraktion dieses Raumes ausmachen. Die zunehmende Rarität ungenutzter und in ihrer Gesamtheit ökologisch intakter Gletscherbäche soll zum Nachdenken über den Verbrauch alpiner Beispiellandschaften anregen. Ihr ökologischer und ökonomischer Wert als eine der letzten Ressourcen unverschmutzten Wassers für die Zukunft wurde vielfach erkannt. Das öffentliche Interesse ist auch durch die breitere Kenntnis von Umweltproblemen verursacht durch menschliche



Aktivitäten auf lokaler/regionaler (z.B. Wasserkraftnutzung, Gewässerverbauung, Tourismus, Kunstschneeerzeugung) und globaler Ebene (z.B. Klimawandel, Saurer Regen) gestiegen. Mehrfach wurde gezeigt, dass die Veränderungen besonders die unberührten Landschaften in hohen Lagen und geographischen Breiten treffen. Es handelt sich um Extremökosysteme, die besonders empfindlich auf organische Verschmutzung, Tourismus, Saurer Regen und Klimaveränderungen reagieren.

Der Katarakt der oberen Isel im Umbaltal (Prägraten am Großvenediger). Je heißer der Sommertag, desto mehr Wasser. Der Höchstwert liegt hier etwa bei 15 m³ pro Sekunde. Die täglichen Schwankungen erreichen im August durchschnittlich 45 Prozent der mittleren Wasserführung.

Was sind Gletscherbäche?

Fließgewässer stellen keine einheitlichen Lebensräume von ihrer Quelle bis zur Mündung dar, sondern die maßgeblichen Umweltfaktoren und die Zusammensetzung der vorkommenden Lebensgemeinschaften ändern sich deutlich im Längsverlauf. Klima (sowohl regionales Klima als auch lokale Witterungsverhältnisse), Häufigkeit, Menge und Saisonalität

tät des Niederschlags, Geologie und Pflanzendecke des Einzugsgebiets und Ufervegetation beeinflussen die Hydrologie und Temperaturverhältnisse im Gewässer und bestimmen mit der Substratzusammensetzung, Bachmorphologie und Wasserchemie die wesentlichen Systemeigenschaften von Fließgewässern. In alpinen Gebieten jedoch kann der Ursprung des Gewässers und der größeren Zuflüsse die Fließgewässercharakteristik entscheidend prägen. So werden entsprechend der Herkunft des Wassers (Grundwasser, Regen, Schnee, Gletscher) und des Gletschereinflusses vier grundsätzliche Typen alpiner Fließgewässer unterschieden (detailliert darge-

Längsverlauf als auch im Jahresverlauf stark ändern kann.

Diese alpinen Flusstypen sind analog zur Verbreitung der alpinen Vegetationszone weltweit zu finden, wo Vergletscherung, eine relativ lange Dauer der Schneebedeckung und andere meist damit zusammenhängende extreme Umweltfaktoren ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften prägen. Kurzum - es handelt sich um Fließgewässerökosysteme der kalten Regionen.

Abflussdynamik, Temperatur, Chemismus und Trüb-

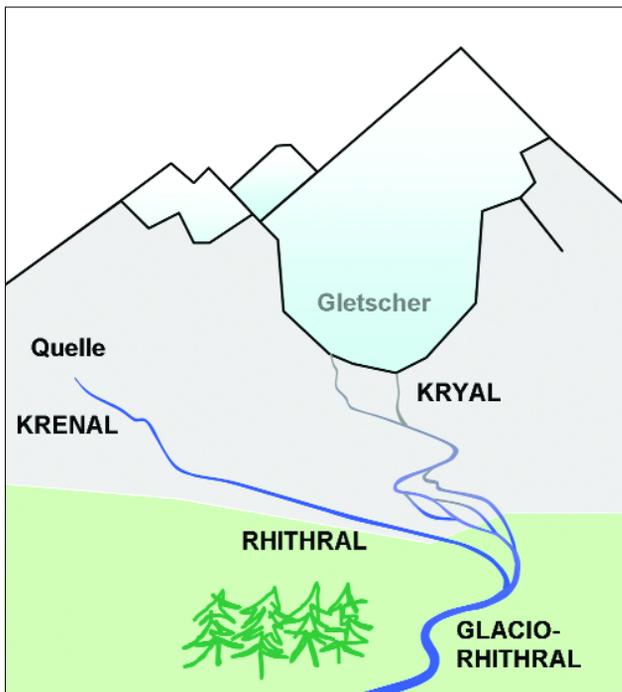


Abb. 1: Die typischen Fließgewässerabschnitte der kalten Regionen, wie sie aufgrund der wesentlichen Umweltfaktoren und ihrer Bewohner eingeteilt werden. Wichtig dabei ist der Ursprung des Gewässers. So unterscheidet die Wissenschaft den Gletscherbach (KRYAL) vom Quellbach (KRENAL) sowie die von Schneeschmelze und Regen geprägten Bäche (RHITHRAL) von den Bachabschnitten, die bereits beträchtlich vom Gletscher entfernt sein können, aber die Umweltfaktoren noch deutlich von diesem beeinflusst sind (GLACIO-RHITHRAL).

stellt in FÜREDER 1999; Abb. 1): Gletscherbach (KRYAL), Quellbach (KRENAL), regen- bzw. schneebeeinflusster Bach (RHITHRAL), und Bachabschnitte, wo der Gletschereinfluss noch immer entscheidend die Lebensbedingungen prägt (GLACIO-RHITHRAL). Alpine Fließgewässerlandschaften können auch ein komplexes Netzwerk von gletscher- und grundwasserbeeinflussten Bachläufen bilden, das sich in seiner Zusammensetzung besonders in Bezug auf den Einfluss der einzelnen Komponenten sowohl im

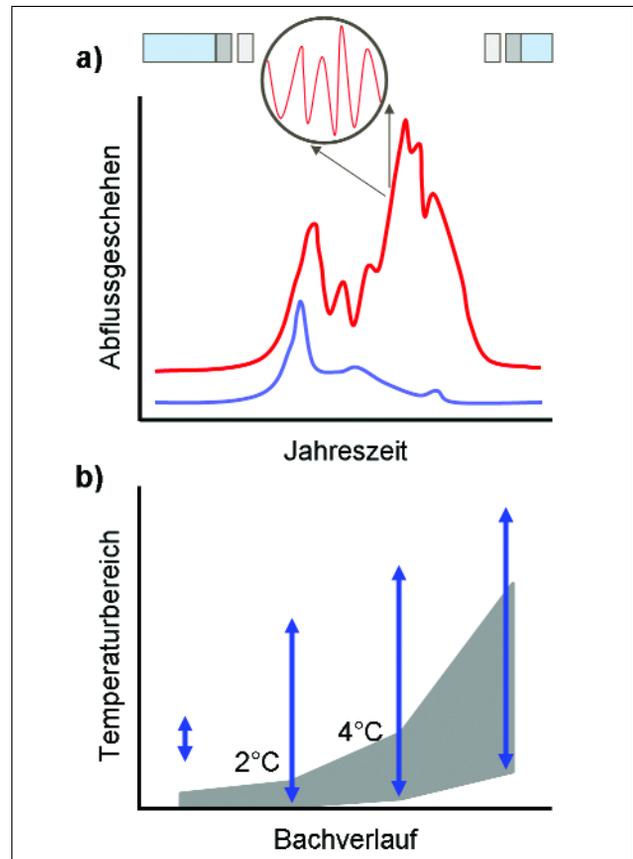


Abb. 2: a) Abflussgeschehen in einem Gletscherbach (rot) und einem Quellbach (blau). Die erste deutliche Erhöhung des Abflusses ist in beiden Bächen zur Zeit der Schneeschmelze festzustellen. Im Gletscherbach erfolgt im Verlauf des Sommers eine deutliche Steigerung der Schüttung, bedingt durch das Schmelzen des Gletschers. Im erhöhten Sommerabfluss ist eine charakteristische Tagesdynamik festzustellen (Kreis). Der Balken über dem Diagramm gibt die Dauer der Schneedecke, die Schneeschmelze im Frühjahr und deren Bildung im Herbst an. b) Typischer Längsverlauf der Schwankungen der Wassertemperaturen in einem Gletscherbach (grau) und einem Quellbach (blaue Pfeile) mit zunehmendem Abstand vom Ursprung (Gletschertor, Quellaustritt). Die sommerlichen Höchstwerte in den oberen Abschnitten eines Gletscherbaches liegen zwischen 0 und 4°C! Mit zunehmendem Abstand wird der Bach zwar wärmer, wegen des Einflusses des Schmelzwassers im Sommer erwärmt er sich weniger als ein Quellbach in vergleichbarer Lage und Größe.

stoffführung gelten als jene Umweltfaktoren, die einen Gletscherbach und einen gletscherbeeinflussten Fluss prägen und am deutlichsten von übrigen Gebirgsbächen der alpinen und subalpinen Region abgrenzen lassen. Das charakteristische Abflussverhalten, mit maximaler Wasserführung im Sommer und Abflussspitzen am Nachmittag und in den Abendstunden sowie Niederwasser über die lange Winterperiode gehören zu den Besonderheiten des Gletscherbaches. Übers Jahr herrschen meist niedrige Temperaturen vor, die mit zunehmendem Abstand zum Gletscher deutlich saisonal schwanken können. Ein oft in Quellbächen ausgeprägter Temperaturanstieg im Sommer ist im Gletscherbach durch das Abschmelzen des Gletschers eingeschränkt oder verhindert.

Die Fauna der Gletscherbäche

Gletscherbäche erfahren durch die Wirkung des schmelzenden Eises genau in den Zeiten, in denen in gletscherunbeeinflussten Bächen stabilere Bedingungen herrschen, eine zusätzliche Dimension der abiotischen Bedingungen. Die Schmelzwässer und deren große Schwankungen sind die stärkste und für den Lebensraum bedeutendste Komponente; sie prägen die ökologischen Verhältnisse im Gletscherbach. Bei maximaler Gletscherablation (Schmelzwasserbildung), die normalerweise in den Nachmittagsstunden eines warmen Sommertages eintritt, erhöhen sich Strömungsgeschwindigkeit, Abfluss, Trübstoffgehalt und Substratumlagerung des Baches dramatisch. Die Folge sind deutliche Störungen für das Leben im Gletscherbach.

Für die Tiere der Gletscherbäche und gletscherbeeinflussten Flüsse sind dabei zwei Faktorenkomplexe von besonderer Bedeutung: zum einen sind es die instabilen und extremen physikalischen Verhältnisse, zum anderen die geringe Nährstoffkonzentration und Nahrungsverfügbarkeit, die als Folge der geringen Temperaturen vor allem aber der Störungshäufigkeit zu sehen sind. Dennoch finden sich Mikroorganismen, Kieselalgen und zu bestimmten Jahreszeiten andere Algen (wie z.B. die zottige Kolonie bildende Goldalge *Hydrurus foetidus*), die den wirbellosen Organismen zumindest periodisch Nahrung oder nährstoffreiches Substrat bieten.

Wie in anderen Gebirgsbächen zählen auch in Gletscherbächen die wasserlebenden Larven der Insektenordnungen Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera), Köcherfliegen (Trichoptera) und innerhalb der Zweiflügler (Diptera) besonders die Vertreter der Zuckmücken (Chironomidae) zu den wirbellosen Wasserbewohnern. Weltweit, von den arktischen Regionen über die Alpen, Pyre-

näen, Kaukasus bis sogar in die tropischen Hochgebirge, wurden charakteristische Gesetzmäßigkeiten und Eigenheiten der Lebewelt, wie eine generelle Artenarmut mit einer geringen Besiedlungsdichte sowie eine ganz typische Faunenabfolge in Gletscherbächen festgestellt. Je näher man zum Gletscher kommt, desto geringer werden Artenzahl und Individuendichte der Artengemeinschaft, wenige tausend Meter entfernt dominieren die Zuckmücken, fast ausschließlich mit der Gattung *Diamesa*. Unmittelbar am Gletschertor bei einem Temperaturbereich von 0 bis 1°C übers Jahr kommt meist nur mehr eine Art vor, nämlich die Gletscherbachzuckmücke *Diamesa steinboecki*. Je nach Grundwasser- bzw. Quelleinfluss können sich einige andere Arten

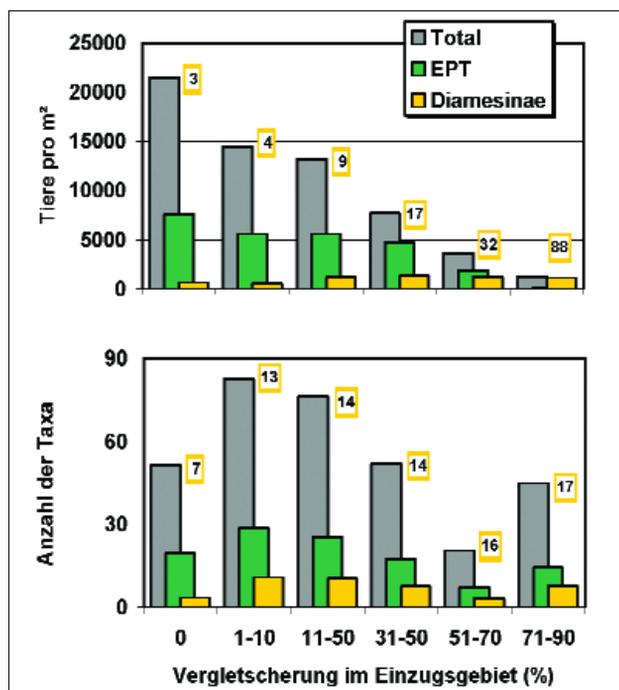


Abb. 3: Besiedlungsdichte und Artenzahl in einem Gletscherbach sind in besonderem Maße vom Vergletscherungsgrad des Einzugsgebietes abhängig. Eine faunistische Auswertung zahlreicher Untersuchungen in Gletscherbächen der österreichischen Zentralalpen (60 Gewässerabschnitte zwischen 1.000 und 2.500 m ü.M.) lässt ein deutliches Bild der Wirkung der Vergletscherung erkennen. In wenig vergletscherten Bereichen kommen durchschnittlich mehr als 20.000 Tiere pro m² Gewässersohle vor, eine Dichte, die dann mit zunehmender Vergletscherung rasch abnimmt. Bei größerem Gletschereinfluss wird die Gesellschaft immer deutlicher von Insekten, bei starker Vergletscherung nur mehr von Arten der Diamesinae (eine Unterfamilie der Zuckmücken) dominiert. Die Anzahl der vorkommenden Arten nimmt ebenso stark ab, die Diamesinae können aber ihre Artenzahl beibehalten. Es handelt sich dabei aber um andere Arten als in Gewässern mit geringerer Vergletscherung. „Graue“ Säulen zeigen alle wirbellosen Tiere, „grün“ sind Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen zusammengefasst und „gelb“ sind die Zuckmücken Diamesinae. Das obere Diagramm zeigt die Individuendichten und das untere die Anzahl der verschiedenen taxonomischen Einheiten (Taxa, Arten).

dazu gesellen. Mit zunehmender Entfernung vom Gletschertor steigt durch Zuflüsse, Quellaustritte und Hangwässer der Anteil gletscherunbeeinflussten Wassers. Entsprechend ist auch die Fauna artenreicher und in größeren Besiedlungsdichten vorhanden (Abb 3, S. 62).

Um den extremen Bedingungen standzuhalten, sind diese Organismen mit einer Reihe von besonderen morphologischen Strukturen und Anpassungen in ihrer Lebensweise ausgestattet. Die hochspezialisierten Larven der Gletscherbachzuckmücken haben „überflüssige“ Körperanhänge reduziert, kräftige Stummelbeine mit großen Krallen (Abb. 4a) gewährleisten selbst bei extremen Strömungsverhältnissen ein gutes Festhalten der Larven auf den Steinen. Analog dieser Einrichtungen haben Eintagsfliegen der Gattung *Rhithrogena* ihre seitlichen Abdominalkiemen zu einer ventralen Haftplatte angeordnet (Abb. 4b). Zudem ermöglicht ihr abgeflachter Körperbau ein relativ gutes Beharrungsvermögen in der Strömungsgrenzschicht auf den Steinen. Andere Eintagsfliegen-Arten wiederum (z.B. Gattung *Baetis*) sind aus strömungsdynamischen Gründen seitlich zusammengedrückt und stromlinienförmig gebaut (Abb. 4c). Neben kräftigen Extremitäten und Haft-

schlüpfen die meisten als geschlechtsreife Fluginsekten. Eine Reihe weiterer Besonderheiten können auch hinsichtlich der tiefen Temperaturen und der geringen Nährstoffverfügbarkeit realisiert sein, wie zum Beispiel die Verlängerung der Generationszyklen (von einem bis mehrere Jahre), kleinere Körpergröße, weniger und/oder kleinere Nachkommen. Die morphologischen Anpassungen, strukturellen Einrichtungen und Besonderheiten in Lebensweise und Stoffumsatz ermöglichen den Arten eine dauerhafte Besiedlung und die Ausbildung stabiler Populationen in Gletscherbächen bis in die extremsten Bereiche. Diese Ausstattungen wurden über Jahrmillionen entwickelt. Zahlreichen anderen wasserlebenden Wirbellosen ist dies aber nicht gelungen, ihr Vorkommen ist dann auf Bachregionen beschränkt, wo die Umweltfaktoren weniger extrem ausgebildet sind. Wenn die limitierenden Faktoren an Intensität abnehmen, werden die Arten der Extremgemeinschaft allmählich von anderen Arten abgelöst, andere gesellen sich dazu.

So gelten als Schlüsselfaktoren für die Entwicklungsmöglichkeit der Lebensgemeinschaft an einer bestimmten Stelle im Längsverlauf eines Gletscherbaches vor allem der Zeitraum seit der letzten Verglet-



Abb. 4: Das Tierleben in einem Gletscherbach. Die vorkommenden Arten sind in Lebensweise, Stoffwechselleistung und Körpergestalt an die extremen Umweltfaktoren angepasst. a) Die Larven der Gattung *Diamesa* sind die typischen Bewohner der Gletscherbäche. b) Eintagsfliegen der Gattung *Rhithrogena* sind durch die Abflachung des Körpers und der Anordnung der seitlichen Hinterleibskiemer zu einer Haftplatte gekennzeichnet. c) Andere Arten, wie zum Beispiel die Eintagsfliege *Baetis alpinus*, sind seitlich schmaler und stromlinienförmig in ihrer Gestalt.

vorrichtungen gewährleisten oft eine schlanke, wurmförmige Gestalt oder die winzige Körpergröße die Existenz bestimmter Arten in den strömungsoptimalen Gesteinszwischenräumen und im Schotterlückenraum.

Arten, die im Gletscherbach vorkommen, haben auch ihren Entwicklungszyklus den hydrologischen Verhältnissen angepasst. Ihre Bestandsmaxima bilden die Gletscherbacharten in der winterlichen Niederwasserperiode aus, das Minimum ist zur Zeit der hochsommerlichen Schmelzwasserabflüsse festzustellen. Bereits im Frühjahr und Frühsommer

scherung, die Wassertemperatur, die Stabilität und die Nährstoffverfügbarkeit (Abb. 5, S. 64). Gerade diese für Struktur und Funktion der Bachzönosen maßgeblichen Faktoren erlangen auch in der Diskussion globaler Klimaänderungen an Bedeutung.

Gefahren für die Gletscherbachfauna: Gletscherschwund und Gewässernutzung

Besonders in den Gebirgslandschaften sind die zeitlichen und räumlichen Heterogenitäten von Klima, Hydrologie und Geomorphologie zu sehen. Während

der letzten Eiszeit haben Gletscher etwa 32 % der gesamten Landfläche bedeckt, woraus sich die enorme Bedeutung der Gletscherflüsse über Jahrhunderte hinweg ableiten lässt. Da heute weniger als 10 % der Landfläche mit Gletschern bedeckt sind, wurden viele Gletscherflüsse von Flüssen abgelöst, die heute von Schneeschmelze, vor allem aber von Niederschlägen in ihrem Abflussverhalten übers Jahr beeinflusst sind. Daraus ist zu schließen, dass der Anteil der gletschergeprägten Fließgewässer über die letzten Jahrtausende stark abgenommen hat.

Dieser Tatbestand und auch jüngere Beobachtungen verdeutlichen, dass der Klimawandel ständige Realität ist. Seit dem letzten Hochstand der Vergletscherung um 1850 konnte ein kontinuierlicher Rückgang der Gletscher in vielen Teilen der Erde beobachtet werden. Auch Beispiele aus den europäischen Alpen verdeutlichen, dass letztes Jahrhundert von einem dramatischen Rückzug der Talgletscher charakterisiert ist.

Moderne Klimamodelle prognostizieren eine Reihe von Veränderungen, die deutliche Auswirkungen auf den Wasserkreislauf und damit auf Fließgewässer haben werden. So ist durch die zeitliche Verschiebung der Niederschlagshäufigkeit und -mengen, vermehrte Starkniederschläge, weniger Niederschläge in Form von Schnee, Anstieg der Schneegrenze, Abschmelzen eines Großteils der Gletscher und die Veränderung des Abflussregimes ein deutlicher Einfluss auf die Fließgewässerökosysteme zu erwarten. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die alpinen Fließgewässerökosysteme sind zwar vielerorts als äußerst komplex diskutiert worden, dennoch lassen sich von eigenen Untersuchungen in den Ostalpen einige grundsätzliche Tendenzen voraussagen, die in alpinen Fließgewässern zu erwarten sind - zumindest was das ökosystemare Niveau betrifft.

Durch den prognostizierten Klimawandel und den fortschreitenden Rückgang der Vergletscherung kommt es zu einer Veränderung der Schlüsselprozesse in Gletscherbächen (Abb. 4, S. 63). Betrachtet man Gebirgsbäche entlang einer Umweltextreme-Diversität-Kurve, so kommen Gletscherbäche am unteren Ende des absteigenden Astes zu liegen. Neben dem Rückgang der Vergletscherung des Einzugsgebietes sowie der Abnahme der Dauer der Schneebedeckung werden

sich besonders Temperaturhaushalt, Menge und chemische Zusammensetzung des Wassers auf den Gewässertyp auswirken. Die durch extreme Umweltfaktoren charakterisierten Gletscherbäche werden allmählich in KRENAL und/oder RHITHRAL-Gewässer übergehen. Bei Abnahme der Extremfaktoren positionieren sich die Gewässerabschnitte in günstigeren Lagen, d.h. sie bewegen sich zum Optimum der Kurve.

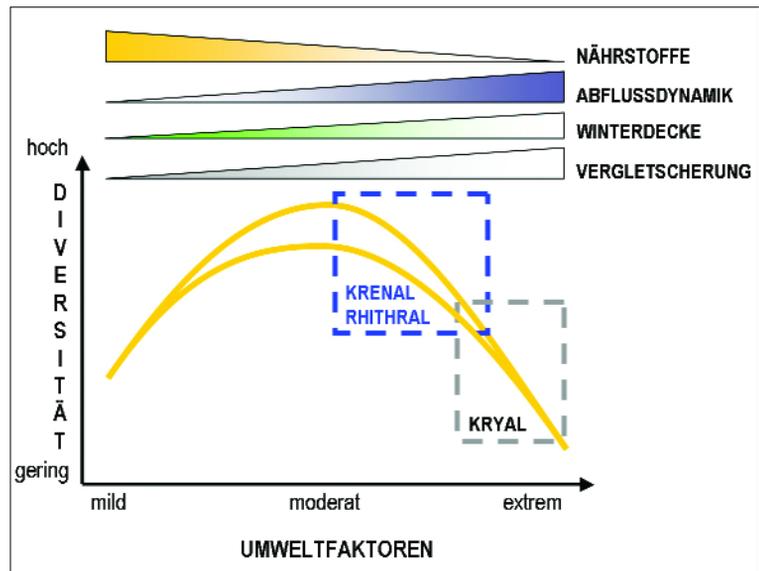


Abb. 5: Szenario der Auswirkung des Klimawandels auf Umweltfaktoren und damit Struktur und Funktion der Lebensgemeinschaften (hier als Diversität ausgedrückt) von Gletscherbächen. Die alpinen Bäche liegen entlang einer Diversität-Extremfaktoren-Kurve in der rechten Hälfte. Gletscherbäche (KRYAL) kommen wegen der extremen Ausprägung der Umweltfaktoren (Abflussdynamik, Temperatur, Nährstoffverfügbarkeit) und der wenigen, aber bestangepassten Arten am äußeren Ende der Kurve zu liegen. In Quellbächen (KRENAL) und in durch Schneeschmelze und Regen geprägten Bächen (RHITHRAL) ist wegen der moderaten Umweltbedingungen die Existenz vieler Organismen möglich, wodurch dort die höchste Diversität zu erwarten ist. Bei äußerst gemäßigten Umweltfaktoren werden die Gewässer sehr produktiv, es kommt zu höheren Temperaturen, einer erhöhten Produktion von Bakterien und niederen Pflanzen und damit zu einem Überangebot an Nährstoffen. Es wird dann das Vorkommen bestimmter Arten gefördert, die dann zahlenmäßig dominieren und für andere Arten eine große Konkurrenz darstellen. Folglich sinkt die Diversität in diesen Gewässern. Die Auswirkungen des Klimawandels würden die Gegebenheiten in den Gletscherbächen folgendermaßen ändern: Durch den Gletscherschwund geht die Vergletscherung des Einzugsgebietes stark zurück, folglich sinkt auch die Tages- und Jahresdynamik im Abflussgeschehen. Die Dauer der Schneebedeckung nimmt wegen des Temperaturanstiegs ab. All diese Faktoren begünstigen die Produktion im Einzugsgebiet sowie im Gewässer selbst, sodass die Nährstoffverfügbarkeit generell erhöht wird. Der „Gewässerzustand“ folgt dann der Kurve nach links.

Mit der Abnahme oder dem völligen Rückgang der Vergletscherung in den Einzugsgebieten nimmt auch der extreme Charakter der Lebensräume ab und die Lebensbedingungen in alpinen Fließgewässern werden sich ähnlicher. Die durch wenige aber hochspezialisierte Arten gekennzeichnete Gletscherbachzönose wird durch eine abgelöst, die durch mehrere



(viele) Arten charakterisiert ist, die hinsichtlich Temperatur und Nahrungsanspruch weniger oder kaum spezialisiert sind. Spezielle Indikatorarten oder glaziale Arten werden sukzessive verschwinden.

Abgesehen von den Veränderungen auf ökosystemarem Niveau gibt es möglicherweise noch eine Vielzahl von weiteren Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässersysteme. Im Gegensatz zum Verlust der Gletscherbach-Arten, die an die extremen Umweltfaktoren optimal angepasst sind und von anderen Besiedlern verdrängt werden, ist ein verändertes Abflussgeschehen mit häufigen Hochwasserereignissen zuerst ein viel auffälligeres Zeugnis von Klimaveränderungen. Zusammen mit veränderter Niederschlagsaktivität destabilisieren sie möglicherweise alpine Vegetation und Waldgesellschaften. Allesamt Faktoren, die Fließgewässer innerhalb, aber auch außerhalb der Alpen in mannigfacher Weise direkt oder indirekt beeinträchtigen werden. Neben dieser „natürlichen“ Veränderung durch Gletscherschwund sind die Gletscherbäche aber auch einer weiteren Gefahr ausgesetzt. Eine große Zahl von Gletscherbächen wird genutzt. Unzählige Beispiele belegen die Veränderungen von Flora und

Fauna, die eine Nutzung von Gletscherbächen bewirkt:

Seit 1850 gab das zurückschmelzende Untere Riffelkees (Stubachtal) Gelände frei, das von den Pflanzen natürlich und unbeeinflusst besiedelt wurde. Durch den Klimawandel ist die Artenvielfalt bedroht.

1) Veränderung des Bachcharakters: Die schmelzwasserbeeinflusste Fließstrecke oberhalb einer Wasserfassung wird durch diese vom Unterlauf isoliert, so dass die Durchgängigkeit des Fließgewässers unterbrochen wird. Natürliche Verhaltensmuster der Wasserinsekten wie Drift und Aufwärtswanderungen (es handelt sich dabei um willkürliche und unwillkürliche Ortsveränderungen) sind dadurch erheblich gestört. Bereiche unterhalb der Wasserfassung werden durch den nun größeren Anteil von Hang-, Quell- und/oder Grundwasser in ein Fließgewässer anderen Charakters umgewandelt. Die limitierenden abiotischen Umweltfaktoren werden entschärft, das Gewässer wird wärmer, klarer und besitzt eine stabilere Sohle; kurz, der Quellbachcharakter überwiegt.

2) Verschwinden von gletscherbachtypischen Spezialisten: Da durch die veränderten hydrologischen und abiotischen Faktoren der Gletscher-

bachcharakter weitgehend verloren geht, verschwinden die gletscherbachtypischen Spezialisten. Die hochspezialisierten und seltenen Gletscherbachzuckmücken *Diamesa steinboeckii* und andere Arten der Diamesinae sowie die nur in Gletscherbächen vorkommende *Rhithrogena nivalis* verschwinden und werden durch euryöke Arten (ertragen breites Spektrum an abiotischen Bedingungen) abgelöst oder verdrängt.

3) Fauna: Generell gesehen entspricht die Fauna unterhalb einer Wasserfassung der eines Quellbaches, was dem Fließgewässertyp des Gletscherbaches nicht mehr entspricht. In mehreren Arbeiten wurde gezeigt, dass den von Schneeschmelze und Regenereignissen geprägten Fließgewässern selbst in großen Höhenlagen ein breites Artenspektrum an aquatischen Insekten eigen ist. Durch die Dämpfung der Extremfaktoren steigt die Höhenverbreitung vieler Arten aus tiefergelegenen Regionen deutlich an. Spezialisten, wie sie in Gletscherbächen vorkommen, sind kaum mehr vertreten. Durch die Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit ist auch die Substratzusammensetzung eine andere, teilweise überwiegend feinkörnige bis sandige Strukturen, so dass auch dies eine Verschiebung der Großgruppen und Artendominanz bedingt. Typische Feinsedimentbewohner können dann überwiegen, die ebenfalls für tiefer liegende Fließgewässerabschnitte charakteristisch sind. Strömungsliebende, an turbulente Verhältnisse angepasste Gebirgsbacharten sind in der Minderzahl. Die reichhaltigen Zoobenthosgemeinschaften in Entnahmestrecken, insbesondere in Gletscherbächen, entsprechen nicht den natürlichen Verhältnissen. Man könnte in diesem Zusammenhang von einem "Zoo" an Bodentieren mit vielen Arten und Individuen sprechen.

Bedrohte Lebensräume bewahren

Bei bestehenden Beeinträchtigungen sollten Randbedingungen vorgegeben werden, die eine Änderung der Bodenfaunastruktur im Rahmen der natürlichen Sukzession entlang des Verlaufs eines Gletscherbaches ermöglichen. Unterbrechungen des Fließkontinuums durch Stauräume und Fassungsbauwerke sowie grundlegende Veränderungen von Abflussregime, Temperatur und Chemismus in den Entnahmestrecken sind diesem Ziel in keiner Weise förderlich. Der Bau geeigneter Umgehungsgerinne und die Abgabe ausreichender Restwassermengen könnten bei der Lösung dieses Problems eine zentrale Rolle spielen.

Bei einem Vergleich mit der Nutzungsintensität der

alpinen Wasserkräfte in der Schweiz (wo bereits mehr als 90 % des ausbauwürdigen Wasserkraftpotenzials genutzt sind), zeigen die Erhebungen für den österreichischen Ostalpenanteil einen zum Glück noch niedrigeren Nutzungsgrad der Gletscherbäche. Die Realisierung geplanter Nutzungen würde sich aber besonders drastisch auf den weiteren Bestand unberührter Gletscherbäche auswirken. Österreich und die von der Vergletscherung am stärksten berührten westlichen Bundesländer sind auf dem besten Wege, ihre repräsentativen Gletscherbäche bei weiterer Realisierung des koordinierten Ausbauprogramms und der veröffentlichten Projektskizzen über weitere Wasserkraftwerke in den nächsten Jahrzehnten fast zur Gänze zu verlieren. Angesichts der extremen und ökologisch wertvollen Lebensräume samt den optimal angepassten Organismen sowie des landschaftlichen Aspektes sollte daher vor einer weiteren Nutzung über die besondere Schutzwürdigkeit dieser noch intakten Gletscherbachsysteme nachgedacht werden. Insbesondere sollten wegen ihrer nationalen Bedeutung geeignete Schritte für deren Schutz eingeleitet werden.

Weiterführende Literatur

- Brittain, J.E. & A.E. Milner (2001): Glacier-fed rivers - unique lotic ecosystems. Special Issue, Freshwater Biology 46.
- Füreder, L. (1999): High Alpine Streams: Cold Habitat for Insect Larvae. - Seiten 181 - 196 in Margesin, R. & F. Schinner (Hrsg.): Cold Adapted Organisms. Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology. - Springer Verlag, Berlin.
- Haßlacher, P. & C. Lanegger (1988): Österreichisches Gletscherbachinventar. - Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins, Serie: Alpine Raumordnung Nr. 1: 33 Seiten + Karten + Datenblätter.
- McGregor G., G.E. Petts, A.M. Gurnell & A.M. Milner (1995): Sensitivity of alpine stream ecosystems to climate change and human impacts. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 5, p. 233-247.

Ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Leopold Füreder
Institut für Zoologie und Limnologie
Universität Innsbruck
Technikerstr. 25
A-6020 Innsbruck
Tel. +43(0)512/507-6125
E-mail: leopold.fuereder@uibk.ac.at
www.uibk.ac.at

Tourismus und Gletscher - die Kehrseite der Medaille

A) Erschließung ist Zerstörung

In der kurzen Bauzeit im Sommer arbeiten die Baumaschinen auf Hochtour und ebnen das Gelände ein. Der Mittelberg- und der Brunnenkogelferner sind im Pitztaler Gletscherschigebiet eines der Beispiele für den Druck auf die Natur in einem zur Erschließung „freigegebenen“ Gletscherschigebiet. Ein Ende ist nicht abzusehen!

B) „Verhüllungskünstler am Werk“?

Der Versuch, natürliche Abschmelzprozesse zu bremsen: Helle Abdeckplanen verzögern durch ihr Reflexionsvermögen das Schmelzen des Eises; blankes Eis ist dunkel, es wird mehr Strahlung aufgenommen und in Wärme umgewandelt, das Eis schmilzt rascher. Nur an neuralgischen Stellen, wie ausapernde Felsrücken (einige Tennisplätze groß), und punktuell bei der Verankerung von Seilbahnstützen im Eis ist diese Methode anwendbar, aber nicht für einen ganzen Gletscher.

C) „Besucherlenkung“ bei Gletscherspalten

In den Nährgebieten der Gletscher sind seit 2½ Jahrzehnten viele Firnschichten abgeschmolzen, sichere Brücken über die Spalten verschwinden. Hier gähnen jetzt zahlreiche Gletscherspalten. Ausgesteckte Routen und Warntafeln tragen zur Sicherheit der Touristen bei (Schmiedinger Kees, Kitzsteinhorn, 2003).

D) Die Lifte stehen!

In den Sommermonaten ist es still geworden in den Gletscherschigebieten. Durch den raschen Rückzug des Gletschers ist an einen Sommerschilauflauf, wie hier am Pitztaler Gletscher, nicht mehr zu denken. Der Mensch mit seiner Technik muss sich der Natur beugen! Zu sehr hat sich der Mittelbergferner in den letzten Jahren zurückgezogen und auch an Masse verloren. Unansehnlich und als regelrechte Fremdkörper fristen die Seilbahnanlagen in dieser Hochgebirgslandschaft ihr Dasein.

E) Sommerschilauflauf - es war einmal!

Die Gondel wirft ihren Schatten auf das völlig blanke Schmiedinger Kees. Ab 1965 bis Anfang der 1980er Jahre waren die „goldenen Jahre“ für den Sommerschilauflauf. Seitdem treten häufig warme Sommer auf und extreme wie 2003, sodass zumeist ab Anfang Juli nur mehr eingeschränkt über etwa 3.000 m Seehöhe Schifahren möglich ist (24.7.2003).

F) Die Wegwerfgesellschaft am Gletscher

Abfall in Spalten oder vom Schnee zugedeckt - nur scheinbar ist er verschwunden und „entsorgt“. Irgendwann gibt der Gletscher alles frei, nach

Jahren, Jahrzehnten oder Jahrhunderten. - Trotz der hellen, zurückstrahlenden Oberfläche ist die Dose ins Eis eingeschmolzen - Aluminium ist ein guter Wärmeleiter.

G) Kein „ewiges Eis“

Die Tafel ist irreführend: „Ewiges Eis“ gibt es nicht. Das älteste Eis an der Zunge ist ca. 500 Jahre alt. In der Nacheiszeit wurde das Eis der Alpengletscher schon viele Male durch das Nachfließen des Eises aus dem Nährgebiet in das Zehrgebiet, wo es abschmilzt, ersetzt. Es ist immer relativ jung, zwischen Jahrhunderten bis vielleicht max. 1.000 Jahre alt.

In der Antarktis und in Grönland ist nach menschlichen Zeitbegriffen das bis zu mehrere 100.000 Jahre alte Eis am ehesten als „ewig“ zu bezeichnen.

H) Niemand räumt auf ...!

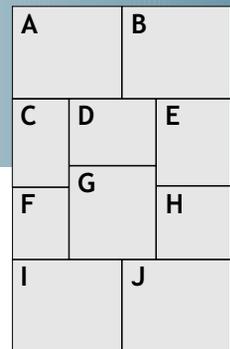
Hinweisschilder vom winterlichen Schibetrieb liegen noch im Sommer auf dem Gletscher (29.7.2005).

I) „Fernwirkung“ ins benachbarte Tal

Diese Matte wurde vom Sturm vom Gletscherschigebiet Rettenbachferner/Ötztal ca. 500 m in das Nachbartal auf den Karlesferner verweht (auf ca. 2.880 m Seehöhe). Es ist eine Sicherheitsmatte, die zum Prallschutz zur Absicherung von Hindernissen auf Schipisten verwendet wird. Wie lange sie wohl schon dort liegt und noch liegen wird?

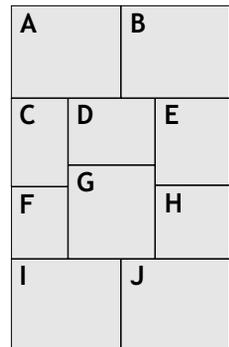
J) Vom Gletscher freigegeben

Beim jährlichen Nachmessen für den OeAV-Gletschermessdienst findet man immer wieder frisch ausgeaperten „Müll“: Das Eisenstück stammt von einer Fliegerbombe aus dem 2. Weltkrieg, ist also 60 Jahre im Eis gewesen. Der Plastikbehälter enthielt ein Frostschutzmittel für den Kühler von Fahrzeugen - welches das wohl war? (Schmiedingerkees im Gletscherschigebiet Kitzsteinhorn, 11.9.2005).



Gletscher - von der Faszination des Eises, das sich ständig bewegt und verändert

Wäre Galileo Galilei im Jahr 1632 an der Pasterze gestanden, hätte er vermutlich beim Blick auf den Gletscher vom „ewigen Eis“, *glaciers continua*, gesprochen. Der wache Geist des Naturforschers hätte aber erkannt: „Und sie (die Eismasse) bewegt sich doch!“. Es war zwar im Originalsatz - die Legende schreibt ihm das zu - die Erde gemeint, aber er hätte auch hier gepasst. Denn die Gletscher sind nur scheinbar starr und bewegungslos, tatsächlich verändern sie sich dauernd und fließen ständig talwärts (aus: *Gletscherweg Pasterze, Naturkundlicher Führer des OeAV zum Nationalpark Hohe Tauern Band 2, 2004, S. 52*).



A) Das vergletscherte Hochgebirge - eindrucksvoll für die Sinne, staunenswert für den Verstand

Gletscher werden und vergehen, kommen und gehen. Das Klima ändert sich in kürzeren Zeitabständen, in Jahrzehnten und Jahrhunderten, und in längeren, wie die Eiszeiten in 1.000en bis 10.000en Jahren. Eiszeitgletscher haben einst auch das Wildgerlostal bedeckt und den Untergrund bearbeitet. Ein Karsee, abgeschliffene Felsflächen, Steilwände des U-Tales sind Zeugen davon. Die messerscharfen Moränenwälle gehen auf relativ junge Veränderungen zurück: Noch um 1850 füllte das Wildgerlostees den Talhintergrund bis zum Talboden, heute ist die Gletscherzunge im Verschwinden begriffen (19.9.1991).

B) Am Anfang war der Schnee

Im Nährgebiet des Gletschers wird meist Jahr für Jahr mehr Schnee abgelagert als hier abschmilzt. Es ist die Geburtsstätte des Gletschereises. Die Schwerkraft führt dazu, dass sich das Eis „auf Wanderschaft“ begibt, es fließt talwärts und formt sich zu einer Gletscherzunge. Hier abgelagerte Schneeflocken, die allmählich zu einem Eiskorn werden, machen sich auf einen, bei Alpengletschern bis zu Jahrhunderten dauernden Weg. Oberulzbachkees (Venedigergruppe).

C) Eis: mit Schneeflocken beginnt es

Eine faszinierende Form des gefrorenen Aggregatzustandes Wasser ist der Schnee. Die Schneekristalle sind das Ausgangsmaterial für das Gletschereis.

D) Jahresschichten im Nährgebiet

Durch das Eigengewicht, den Überlagerungsdruck und das Schmelz- und Wiedergefrieren wandelt sich Schnee in Firn und dann zu Firneis, die Dichte nimmt zu und der Luftgehalt dementsprechend ab. Schließlich entsteht kristallines, dichtes Gletschereis mit einer Dichte von ca. 900 kg/m³. In ca. 15 bis 20 m Tiefe hätte der Schacht reines Gletschereis erreicht. Dunkle Schmutzbänder trennen die einzelnen Firnschichten. Ganz oben liegt unter dem hellen Neuschnee die Schmutzschicht vom Sommer 1980. Sie befindet sich auf einer etwa 2 m dicken Firnschicht. Es ist der nach der Abschmelzung im Sommer 1980 zurückgebliebene Rest vom Winterschnee 1979/80. Das nächste Firnpaket wird oben durch den Sommerhorizont 1979 und unten von dem von 1978 eingegrenzt (Firnpaket 1978/79). Der 4. Schmutzhorizont ganz unten ist vom Sommer 1977 (Firnpaket 1977/78); dünnere dunkle Zwischenhorizonte sind Eisschichten (Filleckboden, Stubacher Sonnblickkees, September 1989).

E) „Jahresringe“ im Eis

Wie Jahresringe sind die einzelnen Firn- und Eisschichten zu erkennen. Die hellen Schneeflecken sind von 1986, die nächsten zwei hellgrauen von 1985 und 1984. Die dunkelgraue Schichte (dunkelstes, dünnes, nicht ganz durchgehendes Band) - gleich anschließend an das blanke Gletschereis - ist aus dem Jahr 1965. Das nächste, breite graue Band ist von 1966, dann das durchgehend verlaufende von 1967. Schließlich nur rechts in schmalen Bändern zu sehen, sind die von 1968, 1969 und 1970.

Im aeren, blanken Gletscherteil sind ganz charakteristisch die jährlichen Eisschichten zu sehen (Schichtogiven; frz.ogive = „Spitzbogen“). Zählt man sie durch, so ist das Gletschereis am Gletscherrand (links unten) mindestens ca. 70 Jahre alt; vermutlich ist es an die 100 Jahre alt, da sicher Schichten fehlen, weil in manchen warmen Jahren mehrere Schichten auch im Nährgebiet wegschmelzen können. Weißseekees, Stubachtel (früher „Olympiahang“, dem Trainingsgelände der österreichischen Schinationalmannschaft in den 1950er Jahren).

F) Jahresschichten im Eis

Durch die Gletscherspalte ist modellhaft der räumliche Verlauf der jährli-

chen Eisschichten und Schmutzbänder zu sehen. Sie liegen höher oben flacher und werden nach unten steiler. Diese Steilstellung ist auf die Fließbewegung des Gletschers zurückzuführen. Kalsler Törl Kees, 30.8.2003.

G) Gletschereis

Im Gletschertunnel sind das Eis und seine Farbe zu bewundern: An der dünnen Decke überstrahlt das direkte Sonnenlicht die Farben. Tiefer unten ist luftblasenarmes Eis durchscheinend (schmale Bänder) und blasenreiches Eis hell. Es sind die so genannten „Blaubänder“ (engl. foliation). Die Farbanteile des Sonnenlichtes werden beim Durchgang durch das Eis verschluckt, außer dem Blau. Für das Auge erscheint Gletschereis blau bis türkisgrün (Stubacher Sonnblickkees, 30.8.1990).

H) Ein Eis-„Puzzle“?

In der Gletscherhöhle sind an der angeschmolzenen Eiswand netzartig Grenzen zu sehen. Es sind so genannte Gletscherkörner. Das Gletschereis besteht am Ende des Umwandlungsprozesses vom Schnee zum feinkörnigen Firn aus Eiskörnern, den „Gletscherkörnern“. Sie sind meist mehrere cm groß, können aber auch Faustgröße und bis zu 15 cm Durchmesser erreichen (grundsätzlich unterschiedlich dazu ist Wassereis, das immer aus senkrecht zur Wasseroberfläche ausgerichteten Eiskristallen besteht). Die Eiskörner greifen gelenkartig ineinander und sind durch feinste Kapillarräume von einander getrennt (Korngrenzen). Bei der Gletscherbewegung deformieren sich die Kristalle, aufgrund wechselnder Druck- und Spannungszustände passen sie sich an (Stubacher Sonnblickkees, 26.8.1998).

I) Gletscher bewegen sich ständig

Unter dem Gletscher: Wir blicken auf die Decke der Leehöhle, hinter uns ist eine Felsstufe, über die sich das Eis abwärts bewegt und im Lee (in der wegströmenden Richtung) ein 30 - 40 m langes Gewölbe entsteht, bevor das Eis wieder am Boden aufsetzt.

An der Decke sind parallele Strukturen zu sehen, die den Eindruck einer plastischen Verformung beim Überströmen eines Hindernisses machen. Der Gletscher gleitet über die Oberseite der Felsstufe (die hinter uns liegt), der große Druck des auflastenden Gletschers verformt das Eis, es passt sich an das Querprofil der Felsstufe an, und feine Unebenheiten an der Felsoberfläche erzeugen die Streifung an der Eisdecke.

Die besonderen physikalischen Eigenschaften des Eises lassen dies alles zu: Eis ist „pseudoplastisch“ oder „quasiviskos“, d.h. es vereinigt alle Eigenschaften von starr, plastisch und viskos. Bei der Bildung der Leehöhle reagiert es starr, beim Drüberfließen und -quetschen über das Hindernis reagiert es „plastisch-viskos“.

Gleichzeitig ist eine der zwei Komponenten des Mechanismus der Gletscherbewegung zu erkennen: Das Gleiten über den Felsuntergrund (die zweite ist das plastische Fließen durch Deformation der Eiskörner (Ödenwinkelkees am Fuße des Kastenturms, 1992).

J) Gletscher sind eine besondere Naturscheinung

Schnee, Eis, Schneegrenze, Gletscherspalten, Moränen, Gletschertor, Klimaänderung, Gletscherrückgang, Eiszerfall ... etc., Gletscher sind ein komplexes Naturgebilde, noch mit vielen Geheimnissen behaftet, auch wenn sich das Wissen darum außerordentlich vermehrt hat.

Der Talgletscher Obersulzbachkees ist nur ein Beispiel von vielen Alpengletschern, an dem diese Phänomene zu beobachten sind. Das Obersulzbachkees von der Kürsinger Hütte aus, li. Großer Geiger, 3.360 m (vgl. Gletscherweg Obersulzbachtal, OeAV, Naturkundliche Führer zum Nationalpark Hohe Tauern, Band 4, 1985, mit Ergänzung 1997).

Impressionen

A) Eisskstrukturen

Aus dem Chaos der abgelagerten Schneesterne sind geordnete Strukturen entstanden. Aus den Jahresschichten der Schneeablagerungen haben sich Eisschichten entwickelt, die von der regelmäßig abgeschmolzenen Gletscheroberfläche angeschnitten werden. Die Bänder sind streckenweise erstaunlich parallel zueinander (Kleineiserkees, Stubachtal, 15.9.2005).

B) Eismäander

Schon die alten Griechen haben am Fluss „Mäander“ in der Westtürkei das Phänomen der regelmäßigen Flusschlingen erkannt. Naturgesetze bringen Erstaunliches hervor. Auch am Gletscher „ist“ der oberflächliche Schmelzwasserbach „diesem gefolgt“.

Der Blick geht talwärts, auf dem geneigten Eishang hat sich ein kleiner Bach allmählich eingeschnitten; die Bogen sind etwa 1 m breit. Aufgrund der Schwer- und Fliehkraft „sägt“ der Bach schräg nach unten mit einem Winkel zur Oberfläche hinein (Filleckkees, beim Stubacher Sonnblickkees, Granatspitzgruppe).

C) In der Unterwelt eines Gletschers

Der „Eindringling“ ist zuerst vom hellen Licht, das an den Eiswänden reflektiert wird, geblendet, bis er sich allmählich an das Dämmerlicht gewöhnt hat und sein Auge nun die Pastellfarben von hellblau bis türkis und die Schattierungen im Gletschereis wahrnimmt.

In der Gletscherhöhle hat die warme Luft („turbulenter Wärmeaustausch“) das Eis geschmolzen, es sind schalenartige Vertiefungen an den Eiswänden entstanden. Hundertfach reflektieren die Schmelzschalen an den Eiswänden und deren gegenseitigen Verschneidungen das einfallende Licht vom Gletschertor; die Person gibt eine Vorstellung von den Dimensionen.

Ein Gewölbe ist die natürliche Form dem Druck des überlagernden Gletschers stand zu halten - bis die Abschmelzung von außen und innen die Decke zu dünn werden lässt und der Tunnel einbricht (Obersulzbachkees bei der Kürsinger Hütte, 2003).

D) Veränderungen von Jahr zu Jahr

Das Obersulzbachkees (Venedigergruppe; Großer Geiger, 3.360 m) schmilzt wie viele andere Talgletscher in den Alpen in jüngster Zeit rasch zurück und zerfällt gleichzeitig stark. Es ist ein seichter See entstanden, der zu einer „Sedimentfalle wird“: Grobes Gesteine, Sande und Feinstoffe werden abgelagert, sedimentiert. Die tageszeitlichen und witterungsabhängigen Abfluss- und Seespiegelschwankungen haben an den Inseln Linien und Kleinstterrassen entstehen lassen, die ehemalige Uferlinien anzeigen.

E) „Wasser-Sand Spiele in der Natur“

Beim Schmelzen des Eises werden feinste mineralische Bestandteile - Gletscherschluff - verschwemmt. Die Rinnsale verzweigen sich in feinste Äste und überlagern sich gegenseitig. Die - einen halben bis einen Meter breiten Fächer trocknen, sobald das Wasser versickert oder versiegt. Das, was sich hier im „Modell“ abspielt, geht und ging bei der Entstehung großer Schwemmfächer (mit grobem Material wie Gerölle und Schotter) in den Tälern vor sich oder bei einer Deltabildung in einen See hinein (z.B. Zinkenbachschwemmfächer in den Wolfgangsee, Salzkammergut).

F) Die Natur als Künstler - Kubismus und Farbe

Das Gestein wurde vom Frost gesprengt, dann hat der Felssturz meterhohe Würfel hinterlassen. Die Landkartenflechten besiedeln vorherrschend die Oberseite des Felsblocks und bedecken fast ganz die Fläche. Das leuchtende Gelb hebt sich akzentuiert ab.

Die der Sonne zugewandte und früher schneefreie Seite bietet mikroklimatische Vorteile für die Flechten. Oberstes Kaiser Tal beim Kaiser Bärenkopfkees.

G) Ein Vorposten der Wiederbesiedlung

Die Clusius-Gemswurz gehört zu den auffälligsten Pflanzen im Gletschervorfeld.

H) „Grünes Netzwerk“

Nach dem Wegschmelzen eines zeitweise vorhandenen Schneeflecks ist eine kleine flache, grobsandige Fläche zurückgeblieben. Verursacht durch zeitweiliges Austrocknen des Bodens sind so genannte Trockenrisse entstanden. Moose finden in den Rissen etwas feuchtere Bedingungen vor (Netzwerk: 5 - 30 cm Durchmesser).

I) Gletschersee - ein vergängliches Juwel

Beim Hochfilleck (= Hochfürleg, 2.943 m) besteht in manchen Jahren ein Eisrandsee zwischen dem Gipfelaufbau und dem kleinen Plateaugletscher. Je nach Seeisbedeckung und Abschmelzung sowie Seestand wechselt seine Größe. Abgewandelt durch die Sonne, das blau des Himmels und die Reflexionen der Umgebung ändert der See seine Farben von tief grünblau oder tintenblau bis zu türkis, oftmals treten alle Farbschattierungen und Pastelltöne gleichzeitig auf.

J) Gletscher vergehen, Seen entstehen

Beim Kleineiserkees in der westlichen Glocknergruppe sind seit 1850 zwei Gletscherseen entstanden (hier der Untere Kleineisersee). Um 1850 füllte das Kees die Geländemulden und bildete (gegen rechts) eine steile hängegletscherartige Stirn aus. In zwei Karen ist ein kleiner Gletscherrest übrig geblieben (Kleineiser, 2.897 m, dahinter Hohe Riffel 3.338 m, 1999).

13

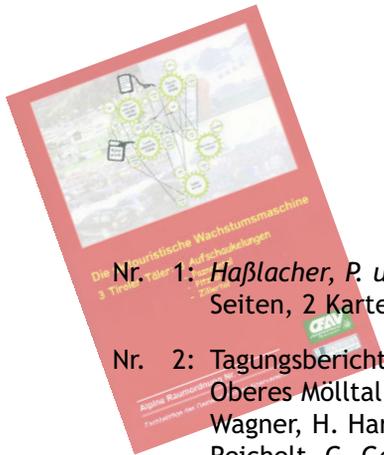
K) Die Urgewalt eines Gletscherbaches

Die Gisch spritzt in die Höhe, tosend, stampfend und rauschend stürzt der Gletscherbach über die Felsstufen talwärts. In heißen Sommertagen ist es fast nur Schmelzwasser des Gletschers. Manche Tropfen stammen von Schneeniederschlägen, die vor hunderten Jahren gefallen sind und so lange im Eis gebunden waren. Sie sind im Wasserkreislauf vom fernen Meer gekommen und treten (wieder) den langen Weg zum Meer an. Viele Tausende Liter Wasser fließen pro Sekunde talwärts. Gletscherbäche sind die natürlichen Verbindungen zu den Flusssystemen in den Alpentälern und Niederungen.



Fachbeiträge des Oesterreichischen Alpenvereins - Serie: Alpine Raumordnung

Schriftleitung: Peter Haßlacher
Oesterreichischer Alpenverein
Fachabteilung Raumplanung/Naturschutz



- Nr. 1: **Haßlacher, P. u. C. Lanegger: Österreichisches Gletscherbachinventar.** Innsbruck, 1988; 33 Seiten, 2 Karten und 177 Datenblätter.
- Nr. 2: **Tagungsbericht 1. Albert Wirth Symposium "Gamsgrube".** (Nationalpark Hohe Tauern - Region Oberes Mölltal: Heiligenblut) mit Beiträgen von J. Kuscher, G. Gärtner, A. Draxl, P. Haßlacher, H. Wagner, H. Hartl, H. Franz, A. Cernusca, W. Burhenne, Th. Hunziker, P. Wörnle, H. Kremser, W. Reichelt, G. Gelb, W. Jansche. Innsbruck, 1989; 144 Seiten.
- Nr. 3: **Haßlacher P. (Red.): Sanfter Tourismus - Theorie und Praxis.** Markierungen für die weitere Diskussion. Beiträge von I. Mose, A. Draxl und P. Haßlacher. Innsbruck, 1989; 148 Seiten - *vergriffen*^(*).
- Nr. 4: **Benedikter G. (Red.): Symposium "Alpen in Not" - Tagungsbericht.** Ziele und Strategien für einen handlungsorientierten Natur- und Umweltschutz des Alpenvereins für die 90er Jahre. Beiträge von Chr. Smekal, H. Guggenbichler, H. Röhle, H. Katschthaler, W. Retter, W. Bätzing, H. Jungmeier, L. Oberwalder, B. Zedrosser, A. Desatz, P. Heiselmayer. Innsbruck, 1990; 68 Seiten.
- Nr. 5: **Haßlacher, P. (Red.): Die Alpen im Mittelpunkt.** Einige Beiträge zum 10jährigen Bestehen der Fachabteilung Raumplanung/Naturschutz des Oesterreichischen Alpenvereins (1981 - 1991). Beiträge von W. Retter, K. Weber, P. Haßlacher, F. Maier, G. Benedikter, D. Wachter u. H. Elsasser, W. Bätzing, M. Broggi. Innsbruck, 1991; 104 Seiten.
- Nr. 6: **Pangerl, K.: Naturinventar Ruhegebiet "Zillertaler Hauptkamm" - Bibliographie.** Innsbruck, 1993; 93 Seiten - *vergriffen*^(*).
- Nr. 7: **Haßlacher, P. (Red.): Krimmler Wasserfälle.** Festschrift 25 Jahre Europäisches Naturschutzdiplom für die Krimmler Wasserfälle (1967 - 1992). Beiträge von H. Kremser, P. Haßlacher, E. Stocker, P. Heiselmayer, H. Slupetzky u. J. Wiesenegger, P. Becker, F. Koller, C. Pichler, F. Lainer, H. Katschthaler, H. Moritz, G. Widrich u. P. Sonnewend-Wessenberg. Innsbruck, 1993; 59 Seiten.
- Nr. 8: **Hechenberger, R.: Gewässer im Stubaital.** Gestern - heute - morgen? Innsbruck, 1994; 42 Seiten + 1 Karte.
- Nr. 9: **Egger, G. u. M. Jungmeier: Projekt Rettenbach. Almprogramm.** Grundlagen-Ziele-Neue Wege. Innsbruck, 1994; 62 Seiten.
- Nr. 10: **Brandl, M.: Der Vertragsnaturschutz als Instrument des Landschaftsschutzes.** Innsbruck, 1994; 64 Seiten.
- Nr. 11: **Haßlacher, P. (Red.): Alpine Raumordnung Zillertal.** Probleme - Lösungsansätze - Perspektiven. Beiträge von W. Rieser, P. Haßlacher, M. Sailer, P. Steger, G. Fischer, G. Liebl, K. Weber. Innsbruck, 1995; 90 Seiten.
- Nr. 12: **Draxl, A.: Der Nationalpark Hohe Tauern - eine österreichische Geschichte.** Band I (von den Anfängen bis 1979). Innsbruck, 1996; 348 Seiten.
- Nr. 13: **Jaritz G. : Good Practice Guide - Schutzgebietsbetreuung in Österreich.** - Ein Handbuch über die gute Praxis der umfassenden Schutzgebietsbetreuung in Österreich. Innsbruck, 1997; 64 Seiten - *vergriffen*^(*).
- Nr. 14: **Haßlacher P. (Red.): Schutzgebietsbetreuung - eine Chance für Natur, Kultur und Tourismus.**

Tagungsbericht 30./31. Mai 1997, Mayrhofen. Beiträge von P. Steger, G. Fankhauser, K. Weber, M. Paar, F. Speer, G. Jaritz, J. Kostenzer, W. Flor, G. Fischer, K. Krainer, A. Kammerer, R. Kals, M. Jungmeier, G. Mussnig, D. Popp. Innsbruck, 1997; 111 Seiten.

- Nr. 15: *Kirchmeir, H. u. M. Jungmeier - Projektlg.: Naturschutzgebiet Gurkursprung - Grundlagen, Ziele, Maßnahmen.* Beiträge von M. Jungmeier, B. Gutleb, D. Streitmaier, C. Kamposch, L. Neuhäuser-Happe, G. Derbuch, C. Wieser, W. Graf. Innsbruck, 1998; 86 Seiten.
- Nr. 16: *Haßlacher, P. (Red.): TAT-ORT "Wilde Krimml".* Beiträge von P. Steger, K. Weber, P. Haßlacher u. D. Rubatscher. Innsbruck, 1999; 37 Seiten.
- Nr. 17: *Haßlacher, P.: Die Alpenkonvention - eine Dokumentation.* Innsbruck, 2000; 151 Seiten.
- Nr. 18: *Wallentin, G.: Besucherlenkung als Teil der Landschaftsplanung - dargestellt am Beispiel des Obernberger Sees.* Innsbruck, 2001; 64 Seiten.
- Nr. 19: *Gräbner, H.: Kärntner Nockberge - Ringen um ein Schutzgebiet (1980).* Innsbruck, 2001; 84 Seiten.
- Nr. 20: *Weber, K., P. Haßlacher u. J. Essl: NATURA 2000 - Ratgeber für Alpenvereinssektionen.* Innsbruck, 2001; 40 Seiten + Karte
- Nr. 21: *Obermeier, M.: Tiefschneefahren ohne Limits? Betretungsrecht kontra verwaltungsrechtliche Beschränkungen.* Innsbruck, 2002; 68 Seiten.
- Nr. 22: *Haßlacher, P. (Red.): BEST PRACTICE GUIDE - Beispiele für eine erfolgreiche Nationalparkentwicklung in den Hohen Tauern.* Beiträge von W. Molterer, F. Schausberger, P. Haßlacher, L. Gander, H. Haslinger, G. Marwieser, M. Jungmeier, P. Rupitsch, G. Mussnig, J. Mair. Innsbruck, 2002; 42 Seiten.
- Nr. 23: *Haßlacher, P. (Red.): Die skitouristische Wachstumsmaschine. 3 Tiroler Täler: 3 Aufschaukelungen: Paznauntal, Pitztal, Zillertal.* Beiträge von P. Haßlacher u. J. Essl. Innsbruck, 2002; 55 Seiten.
- Nr. 24: *Haßlacher, P. (Red.): Die Alpenkonvention - Markierungen für ihre Umsetzung.* Beiträge von P. Haßlacher, E. Galle, S. Cuypers, G. Glantschnig, H. Lang, R. Kals, C. Schwann, G. Plassmann, R. Siegele, M. Kattinger. Innsbruck, 2004; 71 Seiten.
- Nr. 25: *Walter, A.: Ein Nationalpark Tiroler Lechtal? Eine Untersuchung des Meinungsbildes vor Ort.* Innsbruck, 2005; 79 Seiten.
- Nr. 26: *Weixlbaumer, N. (Red.): Nachhaltige Innovationsfaktoren für ländliche Räume.* Beiträge von N. Weixlbaumer, I. Mose, D. Siegrist, Th. Hammer, F. Kandler. Innsbruck, 2005; 55 Seiten.
- Nr. 27: *Slupetzky, H. (Red.): Bedrohte Alpengletscher.* Beiträge von P. Haßlacher, H. Elsasser & R. Bürki, H. Slupetzky, C.M. Hutter, M. Kuhn, L. Braun & M. Weber, K. Nicolussi, B. Erschbamer, L. Füreder. Innsbruck, 2005; 74 Seiten.

(¹) Diese Nummern sind vergriffen. Kopien können in der Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz unter Ersatz der Kopierkosten gerne angefordert werden (siehe Bestelladresse unten).

Bestelladresse

Oesterreichischer Alpenverein Fachabteilung Raumplanung-Naturschutz

Wilhelm-Greil-Str. 15 · A-6010 Innsbruck
Tel. +43/(0)512/59 547-20 · Fax +43/(0)512/59 547-40
E-mail: raumplanung.naturschutz@alpenverein.at
www.alpenverein.at/naturschutz/Publikationen/index.shtml

Mitglied werden beim Oesterreichischen Alpenverein

- Unterstützen Sie den OeAV bei seinem umfassenden Alpenschutz und genießen Sie außerdem zahlreiche Vorteile

10 Mitgliedervorteile

1... VERSICHERUNG

Der Alpenverein Weltweit Service, die internationale Sport- und Freizeitversicherung des Alpenvereins, ist für jedes Mitglied gratis und übernimmt Bergungskosten bis € 22.000,-, alle Rückholkosten aus dem Ausland und ersetzt Kosten für einen stationären Krankenhausaufenthalt im Ausland bis zu € 7.500,-. Eine Europa Haftpflichtversicherung für viele Sportarten, die Schäden bis € 2,180.186,- deckt und eine Europa-Rechtsschutzversicherung für viele Sportarten bis € 32.702,- sind ebenfalls inkludiert.

2... ERMÄSSIGUNG

Für Mitglieder gibt es bis zu 50 % Rabatt bei der Übernachtung in 545 Schutzhütten des Oesterreichischen, Deutschen und Südtiroler Alpenvereins und Mitgliederrechte auf weiteren 1.300 Hütten in der Schweiz, in Frankreich, Italien, Spanien, Slowenien und Liechtenstein. Ermäßigungen in mehr als 70 privaten Gasthöfen und in einer Reihe von Talherbergen sind ebenfalls inkludiert.

3... FAMILIEN-BONUS

Familien zahlen weniger: Ehe- bzw. Lebenspartner von Mitgliedern bezahlen den ermäßigten Beitrag und Kinder ohne Einkommen erhalten die Mitgliedschaft bis max. 27 Jahre kostenlos. Dies gilt auch für AlleinerzieherInnen. Familienförderung liegt dem Alpenverein am Herzen. Daher gibt's auch preiswerte Familienurlaube auf Hütten, eigene Familiengruppen und zahlreiche weitere Angebote.

4... KIDS-CLUB

Jede Menge Spaß ist garantiert. Ob beim Feriencamp, bei internationalen Meetings oder auf einer Umweltbaustelle. Beim Sportklettern, Snowboarden abseits der Pisten oder beim Übernachten im selbst gebauten Iglu. Über 1.000 geführte Jugendgruppen bieten sinnvolle Freizeitgestaltung und oft Freundschaften fürs Leben. Auf der Ferienwiese in Weißbach und anderen Jugendstandorten werden umfassende Programme angeboten. Weitere Informationen erhalten Sie unter www.alpenvereinsjugend.at.

5... AUSBILDUNG

Hochqualifizierte Mitarbeiter in den Alpenvereinssektionen und der Bergsteigerschule bieten im Fels, Schnee und Eis umfassende Alpinausbildungen an.

6... NATURSCHUTZ

Der OeAV setzt sich als „Anwalt der Alpen“ für die Erhaltung von Natur- und Kulturlandschaften ein. Er ist der Partner der alpinen Nationalparks, plant und betreut Schutzgebiete, setzt sich für eine umfassende Alpine Raumordnung ein, engagiert sich für Umweltbildungsmaßnahmen und ist führend für die Alpenkonvention tätig. Bei der umweltgerechten Energie- und Trinkwasserversorgung sowie bei der Abfall- und Abwasserentsorgung im Gebirge genießt der Alpenverein Weltruf.

WETTERDIENST ...7

Der Alpenverein-Wetterdienst bietet den Wanderern, Bergsteigern, Skitourengehern, usw. umfassende Wetterinformationen an: Im Internet (www.alpenverein.at), über den Tonbanddienst (Tel. 0900-91-1566-80) oder als persönliche Beratung durch Meteorologen und Bergführer (Tel. ++43/(0)512-291600).

INFORMATION ...8

Mehrmals jährlich erhalten Mitglieder kostenlos die Alpenvereins-Mitteilungen mit interessanten Fachbeiträgen und Informationen zu den Themen Bergsport, Naturschutz, Alpenkonvention, Hütten und Wege, Alpenvereinsgeschichte, usw. Mit dem Fachmagazin "bergundsteigen" gibt der Alpenverein das erste deutschsprachige Magazin für Risikomanagement im Bergsport heraus. Außerdem können eine Vielzahl an Fachpublikationen, Naturkundliche Führer, 67 Gebirgskarten (auch als CD) und Bergsportprodukte von Mitgliedern günstig erworben werden. Weitere Infos, Angebote und Anmeldeöglichkeiten finden Sie auch unter www.alpenverein.at.

SPORT ...9

Auf über 100 künstliche Alpenvereins-Kletterwände in ganz Österreich können Mitglieder Kletterkurse belegen, professionell klettern oder bouldern. Der Alpenverein bietet auch Trainingsmöglichkeiten für Wettkampfkletterer an. Alpenvereinsmitglieder können natürlich auch bei allen wichtigen nationalen und internationalen Wettbewerben starten.

BERGE ...10

Berg- und Skitouren in den Alpen, Trekkingabenteuer, Mountainbiketouren, Kulturreisen oder Expeditionen in die Weltberge - das und vieles mehr bieten die Alpenvereinssektionen und das Programm der Bergsteigerschule. Wählen Sie Ihr persönliches Traumziel aus den unzähligen Tourenmöglichkeiten.

Mitgliedsbeiträge^(*)

Erwachsene	26 - 60 Jahre	€ 48,50
Jugend	bis 18 Jahre	€ 19,50
Junioren	19 - 25 Jahre	€ 36,50
Senioren	ab 61 Jahre	€ 36,50
Ehe- bzw. Lebenspartner von Mitgliedern		€ 36,50

^(*) Alpenvereinssektionen mit ganztägig geöffneten Geschäftsstellen und erweitertem Serviceangebot können geringfügig höhere Mitgliedsbeiträge einheben.

Neue Mitglieder werben!

Sind Sie bereits Mitglied beim OeAV, so können Sie neue Mitglieder werben und erhalten für 1 neues Mitglied eine Alpenvereinskarte, für 5 neue Mitglieder einen Hervisgutschein über € 60,- und für 10 neue Mitglieder einen Hervis-Gutschein über € 140,-.

Weitere Informationen zur OeAV-Mitgliedschaft

Oesterreichischer Alpenverein, Martina Pfurtscheller, Wilhelm-Greil-Straße 15, A-6010 Innsbruck, Tel. +43/(0)512/59 547-22, Fax +43/(0)512/57 55 28, E-mail: avdata@alpenverein.at, www.alpenverein.at.

