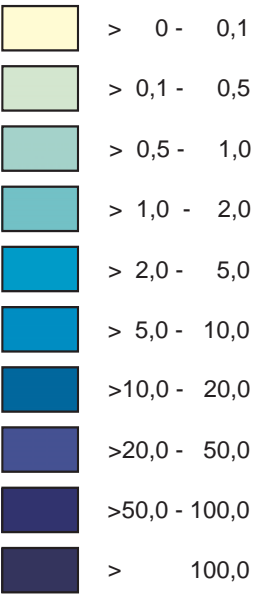


Höhe des Wasseräquivalents pro km² im Jahr 2000 [m]



GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

1.8 Eisreserve

Rastergröße: 1 x 1 km²

Maßstab: 1: 1.320.000



Datengrundlage:

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck
Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie
der Wissenschaften, München
Geographisches Institut der Universität Zürich
DANUBIA- DGM und daraus abgeleitetes Gewässernetz

Autoren:

M. Weber
Kommission für Glaziologie der
Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München
M. Prasch
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München
M. Kuhn, A. Lambrecht
Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck
W. Hagg
Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Grafik:

V. Falck
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

1.8 Eisreserve - Teilprojekt Glaziologie

1. Einleitung

Im alpinen Bereich des Donaeinzugsgebietes spielen Gletscher eine wichtige Rolle für den Wasserhaushalt der Kopfeinzugsgebiete. Sie binden nicht nur ein nennenswertes Süßwasserreservoir, sondern wirken auch regulierend auf den Abfluss der Gebirgsflüsse, da das gesammelte Schmelzwasser nahezu verzögerungsfrei vollständig dem Gerinne zugeführt wird. Dies ist vor allem während niederschlagsarmer Perioden im Sommer von Bedeutung, da durch die Gletscherschmelze extrem niedrige Pegelstände verhindert werden.

Gletscher schmelzen hauptsächlich an der Oberfläche ab. Die Menge des gebildeten Schmelzwassers ist somit proportional zur Ausdehnung der Gletscherflächen. Deren Änderung im Laufe der Zeit hängt aber nicht nur von der Schneeakkumulation im Winter und der Schmelze im Sommer ab, sondern sie ist vor allem auch das Resultat der Dickenverteilung des Eiskörpers und der Umlagerung von Eis durch die Eisbewegung. Diese Informationen müssen für ein Modell in räumlich möglichst hoher Auflösung erfasst werden und zur Modellinitialisierung zur Verfügung stehen.

Bezogen auf die 1x1 km²-Rastergröße von DANUBIA sind 92% der Gletscherflächen kleiner (siehe Abbildung 1.8.1) als ein Proxel. Ein gutes Drittel bedeckt sogar nur 10% von dessen Fläche. Andererseits erstrecken sich Gletscherareale innerhalb eines Proxels über bis zu 1000 Höhenmeter, sind also auf kurzen Distanzen sehr unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen ausgesetzt. Die deutlichsten Veränderungen ihrer Geometrie durch den Klimawandel erfahren Gletscher in den tiefstgelegenen Bereichen und an den Rändern, wo die Mächtigkeit des Eises am geringsten ist und kaum Eisbewegung herrscht.

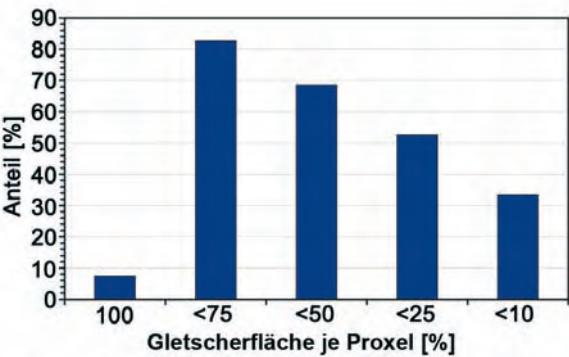


Abbildung 1.8.1: Anteil an der Gesamtzahl aller Proxel, auf denen Gletscher einen Flächenanteil unterhalb des angegebenen Schwellenwertes in % einnehmen.

Die detaillierten Gletscherdaten bilden die Grundlage für die Simulation der Schmelzwasserspende und der zukünftigen Gletscherstände. In Kartenform, auf der Skala des Rengitters von DANUBIA dargestellt, zeigen sie sowohl Lage und Umfang der im Jahre 2000 im Einzugsgebiet der Oberen Donau vorhandenen Vorräte an Gletschereis als auch deren unterschiedliche hydrologische Bedeutung für die jeweiligen alpinen Teileinzugsgebiete.

2. Datenaufbereitung

Je nach Nomenklatur kann man die gegenwärtigen Gletscherflächen im Einzugsgebiet der Oberen Donau in 556 Teilflächen unterteilen, die sich entsprechend Tabelle 1.8.1 Gebirgsgruppen in den Ostalpen zuordnen lassen. Sie verteilen sich innerhalb der Modellgrenzen von DANUBIA über 1196 Proxel. Für jedes Proxel wurde eine Flächen-Höhen-Verteilung in Klassen zu maximal 50m Höhendistanz anhand digital vorliegender Gletschergrenzen und einem digitalen Höhenmodell (DHM) hoher Auflösung erstellt. Für die österreichischen Gletscher, die etwa 90% der vergletscherten Fläche im Einzugsgebiet abdecken, wurde der Datensatz des neuen Gletscherinventars des Instituts für Meteorologie und Geophysik Innsbruck (IMGI) (Lambrecht & Kuhn, 2007) genutzt, das Höhenmodelle mit einer Gitterweite von 10m und Gletschermasken auf der Basis von Bildflügen bereitstellt, die im Zeitraum von 1996 - 2002 durchgeführt wurden.

Für die Umrisspolygone der Gletscherflächen in der Schweiz konnte dankenswerter Weise das im Jahr 2000 auf der Basis von Fernerkundungsdaten erstellte Gletscherinventar der Schweiz (Paul et al., 2002) genutzt werden. Mittels dieser Information und dem 90m-DHM der im Februar

2000 von der NASA geflogenen SRT-Mission wurden Verteilungen in 50m-Höhenstufen auch für die Gletscher der Schweiz gerechnet.

Der Vollständigkeit halber wurden auch die 5 deutschen Gletscher in den Bayerischen Alpen in den Datensatz aufgenommen. Die zur Bestimmung der Flächenanteile im Abstand von 20 Höhenmetern erforderlichen Geländedaten wurden im Rahmen des DFG-Projekts Bayerische Gletscher (Hagg, 2006) aufgenommen und bereitgestellt.

Gebirgsgruppe	NG	A [km ²]	V [km ³]	PS [mm]
Albula-Alpen	23	8,72	0,260	3,40
Allgäuer Alpen	1	0,09	0,002	0,02
Ankogelgruppe	9	2,51	0,061	0,79
Berchtesg. Alp.	3	1,99	0,038	0,50
Bernina-Alpen	15	30,35	1,629	21,26
Glocknergruppe	42	26,75	1,358	17,71
Goldberggruppe	17	5,07	0,135	1,76
Granatspitzgr.	6	2,24	0,115	1,50
Lechtaler Alpen	5	0,29	0,004	0,05
Ötztaler Alpen	152	129,39	6,581	85,85
Samnaun	3	0,08	0,001	0,01
Silvretta	36	17,65	0,584	7,63
Stubai Alpen	101	52,20	2,234	29,14
Venediger-Gr.	32	31,97	1,507	19,65
Verwall	23	2,02	0,045	0,58
Wetterstein	3	0,73	0,012	0,15
Zillertaler Alpen	85	45,87	1,838	23,98
Total	556	357,92	16,402	213,98

Tabelle 1.8.1: Verteilung der Gletscher im Einzugsgebiet auf die Gebirgsgruppen. NG: Anzahl der Gletscher, A: Fläche, V: Volumen der gespeicherten Wassermenge, PS: Potentielle Spende an Gletscherwasser, normiert auf die Fläche des Einzugsgebietes.

Jeder Teilfläche muss ein realistischer Wert für die Mächtigkeit des Eises im Jahr 2000 zugewiesen werden. Während die Oberflächen aller Gletscher sehr genau vermessen sind, ist die Kenntnis zur Form des Gletscherbettes in der Regel noch sehr lückenhaft, für eine realistische Modellierung der Gletscher jedoch unerlässlich. Deshalb arbeiten viele glaziologische Arbeitsgruppen seit einigen Jahren verstärkt daran, diese Lücken anhand in der Fläche anwendbarer Messverfahren, wie z.B. dem Radioecho, zu schließen. Messungen der Eisdicke wurden im Untersuchungsgebiet bereits an etwa 50 Gletschern unterschiedlicher Größe und Lage durchgeführt (Span et al., 2005) und die Liste wird ständig ergänzt. Detaillierte Eisdickenverteilungen wurden z.B. 2007 für den Vernagtferner, einem großen Gletscher in den Ötztaler Alpen, bestimmt. Aber auch für kleine Flächen wie dem Schneeferner an der Zugspitze oder dem Schwarzmilzferner in den Allgäuer Alpen liegen genaue Messergebnisse vor. Anhand dieser lassen sich die Eisdicken auf den Teilflächen direkt bestimmen (siehe Abbildung 1.8.2).

Für die Mehrzahl der Gletscher fehlt aber bislang noch die Eisdickenmessung. Für diese wurden Schätz- bzw. Erfahrungswerte angenommen, die durch (i) Daten zu benachbarten Gletschern mit bekanntem Eisvolumen bzw. bekannter Eisdickenverteilung, (ii) Formeln zur Abschätzung der maximal möglichen Eisdicke unter einer gegebenen Hangneigung (Paterson, 1981) und (iii) einer zwischen dem Volumen eines Gletschers V [km³] und seiner Fläche A [km²] nach Bahr (1997) mit einem für alpine Verhältnisse bestimmten Exponenten

$$V = 0,02 \cdot A^{1,36}$$

zusätzlich abgesichert wurden.

Folglich sind in den Daten der Eismasse der Gletscher ohne Dickenmessung sicher noch Fehler enthalten, die im Einzelfall bis zu 100% betragen können, meist jedoch den Toleranzbereich der Prozessmodellierung von 10% – 20% nicht überschreiten. Das in Tabelle 1.8.1 über das Modellgebiet integrierte Gesamtvolumen des Wasseräquivalents aller Gletscher von 16,4 km³ weicht nicht deutlich von bisherigen integralen Schätzungen für den Ostalpenraum ab, ebenso wie die auf das gesamte Einzugsgebiet verteilte potentielle Schmelzwasserspende von 213 mm, welche etwa mit dem Gebietsniederschlag zweier Sommermonate vergleichbar ist. Dennoch dürfte

es sich wegen des Umfangs und der Qualität der Basisdaten bei der vorliegenden Bestandsaufnahme um die bislang genaueste und detailreichste Darstellung der Eisreserven im Ostalpenraum handeln.

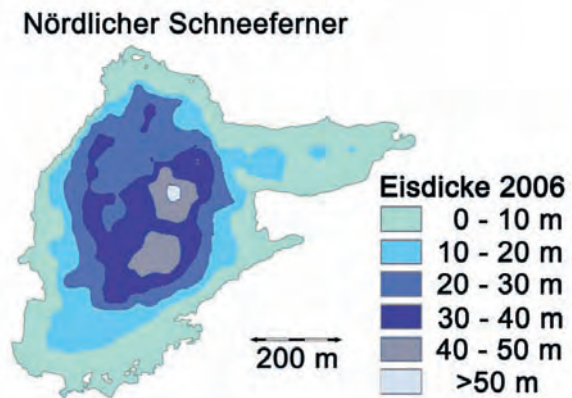


Abbildung 1.8.2: Gemessene Eisdicken am Nördlichen Schneeferner

3. Darstellung der Ergebnisse

In der Kartendarstellung wird das Wasseräquivalent der gesamten Eismasse auf der Fläche eines Proxels mit 1x1 km² berechnet und gleichmäßig über die Fläche verteilt. Die Werte sind somit direkt mit anderen hydrologischen Größen, wie beispielsweise der Jahressumme des Niederschlags oder der Abflussspende vergleichbar.

Die in der Karte wiedergegebenen Eisressourcen können als lokale Quellen für Süßwasser in heißen Trockenperioden betrachtet werden. Deren Ergiebigkeit wächst mit dem Flächenanteil, welchen die Eismasse einnimmt. Ein hoher Wert des Wasseräquivalents bedeutet in der Regel eine dicke Eisdecke und ist damit wegen des oben erwähnten Zusammenhangs zwischen Volumen und Flächenausdehnung von Gletschern mit einer großen Gletscherfläche verbunden. Somit stehen hohe Werte des Wasseräquivalents nicht nur für eine große Reserve an Gletschereis sondern auch für eine ergiebige Schmelzwasserspende.

Die Kartendarstellung verdeutlicht, dass die wirklich maßgeblichen Gletschergebiete im Einzugsgebiet der Donau am Alpenhauptkamm in den Regionen zu finden sind, in denen die Mehrzahl der Gipfel deutlich über 3000 m ü. NN hinausragen. Gut die Hälfte der Eismasse der Oberen Donau ist in den Gebirgsgruppen der Ötztaler und Stubai Alpen gelagert. Weiterhin stark vergletschert sind die Zillertaler Alpen, die Venediger- und Glocknergruppe, sowie die Bernina-Alpen, welche mit 4049 m ü. NN den höchsten Punkt des Untersuchungsgebietes beinhalten. Dort sind stellenweise noch Reserven bis zum 50-fachen des Jahresniederschlags gespeichert.

Literatur

- Bahr, D. H. (1997): *The physical basis of glacier volume-area scaling*. Journal of Geophysical Research, 102, N. 89, p20,355-20,362.
- Hagg, W. (2006): *Digitale Aufbereitung historischer Gletscherkarten in Bayern*. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, 88: 67-88.
- Lambrecht, A. & Kuhn, M. (2007): *Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian Glacier inventory*. Annals of Glaciology, Vol. 46.
- Paterson, W.S.B. (1981): *The Physics of Glaciers*. Pergamon Press Ltd., First Edition (1969), Second Edition (1981), ISBN 0 08 024005 4, 380 S.
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T. & Haeberli, W. (2002): *The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory*. I. Methods. Ann. Glaciol., 34, 355-361.
- Span, N., Fischer, A., Kuhn, M., Massimo, M. & Butschek, M. (2005): *Radarmessungen der Eisdicke Österreichischer Gletscher*. Band 1: Messungen 1995 bis 1998. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, 33, Wien.