

Hallstätter Gletscher

Massenhaushalt und Klima 2006/2007



Jahresbericht der Untersuchung des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck

Kay Helfricht¹, Mag. Klaus Reingruber², Dr. Mag. Andrea Fischer¹

¹Department of Meteorology and Geophysics
University of Innsbruck
Innrain 52
A-6020 Innsbruck/Austria
Mail: andrea.fischer@uibk.ac.at
kay.helfricht@student.uibk.ac.at
Internet: www.imgi.uibk.ac.at
Phone: 0043-512-507-5467
FAX: 0043-512-507-2924

²BLUESKY Wetteranalysen
Traunmüller u. Reingruber OEG
Technisches Büro für Meteorologie
Steinhüblstrasse 1
4800 Attnang- Puchheim
Mail: office@blueskywetter.at
Internet: www.blueskywetter.com
Phone: 0043-7674-20660
Fax: 0043-7674-2066

Kurzfassung

Seit Herbst 2006 werden am Hallstätter Gletscher Massenbilanzmessungen durchgeführt. Dabei wird mit Schneeschächten und Schmelzpegeln festgestellt, wie Schnee und Eis am Hallstätter Gletscher pro Jahr dazukommt oder abschmilzt. Wie hoch die Massenumsätze sind, hängt von der Witterung während des Jahres ab. Deshalb werden parallel zu den Messungen am Gletscher auch die Wetterdaten gemessen und aufgezeichnet. Das Land Oberösterreich sowie die Energie AG ermöglichten den Start der Forschungsarbeiten unter der Leitung des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit BLUE SKY Wetteranalysen.

Das erste Jahr der Messungen zeigte eine leicht negative Bilanz. Für den Zeitraum vom 1.10.2006 bis 30.09.2007 verlor der Hallstätter Gletscher 1.182 Mio. Liter Wasser, das entspricht gemittelt über die gesamte Gletscherfläche einem Dickenverlust von 42 cm Eis (38 vm Wasseräquivalent).

Der am Hallstätter Gletscher gemessene Verlust ist etwas geringer als das langjährige Mittel des Hintereisferners in den Ötztaler Alpen, der längsten Messreihe Österreichs. Im Vergleich mit an inneralpinen Gletschern im selben Jahr gemessene Bilanz ist der Verlust am Hallstätter Gletscher im Jahr 2006/07 gering. Ob die nur gering negative Massenbilanz des Hallstätter Gletscher eine allgemeine Tendenz widerspiegelt oder ein einmaliges Ereignis ist, kann erst durch Vergleich einer mehrjährigen Messreihe geklärt werden.



Abbildung 1.1. Webcamaufnahmen des Hallstätter Gletschers v.l.n.r. am 27.03., 28.05. und 16.08.2007



Abbildung 1.2. Messarbeiten in einem Schneeschacht

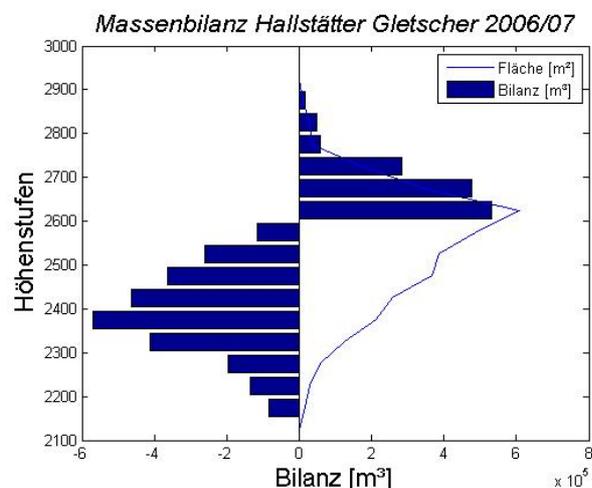


Abbildung 1.3. Massenbilanz und Verteilung der Fläche des Hallstätter Gletschers nach Höhenstufen 2006/2007

Inhaltsverzeichnis



1. *Ziel der Massenbilanzmessungen*
2. *Das Untersuchungsgebiet*
3. *Klima und Witterungsverlauf*
4. *Massenbilanz*
 - 4.1. *Methode*
 - 4.2. *Durchgeführte Feldarbeiten 2006/2007*
 - 4.3. *Auswertung*
 - 4.4. *Zusammenfassung der Ergebnisse*
5. *Ausblick*
6. *Anhang*
 - 6.1. *Definitionen*
 - 6.2. *MitarbeiterInnen*
 - 6.3. *Literatur*

1. Ziel der Massenbilanzmessungen

Gletscher sind empfindliche Indikatoren für Klimaänderungen. Dennoch gibt es weltweit nur wenige Gletscher an denen langjähriger Reihen des Massenhaushaltes gemessen werden (IPCC 2008). Massenbilanzmessungen dienen dabei zur Untersuchung des direkten Zusammenhanges zwischen Gletschern und dem Klima. Diese Verbindung drückt sich langfristig in Flächen- und Volumsänderungen aus. Entscheidend für die Entwicklung eines Gletschers sind Veränderungen im Bereich des Massengewinnes, der Akkumulationszone, und der Bereich des Massenverlustes, der Ablationszone. Abbildung 4 zeigt einen schematischen Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers.

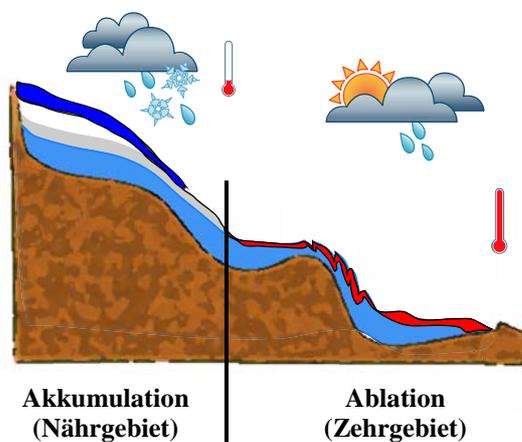


Abbildung 1.4. Schematischer Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers. Farblich dargestellt sind die Eismasse des Gletschers (hellblau), im Bereich der Akkumulation Schnee (dunkelblau) und Firn (weiß/grau) sowie der Massenverlust (rot) im Ablationsgebiet. Die Thermometer geben die relativen Temperaturverhältnisse wieder.

Gelegen im Dachsteingebiet, gehört der Hallstätter Gletscher zu den nördlichen Kalkalpen und wird von den klimatischen Bedingungen des Alpennordrandes beeinflusst. Speziell in dieser Region treten erhöhte Niederschlagsmengen gegenüber dem österreichischen Mittel auf. Dies könnte zu einer verstärkten Ablagerung von Schnee in der Akkumulationszone und somit einem eher ausgeglichenen Massenhaushalt führen. Erhöhte Temperaturen hingegen würden eine höhere Schmelzrate und damit einen stärkeren Verlust an Masse vor allem in der Ablationszone bewirken. In Verbindung mit meteorologischen Daten und Massenbilanzmessungen über mehrere Jahre können solche Beziehungen näher untersucht werden.

Im folgenden werden die Ergebnisse für das Massenhaushaltsjahr 2006/2007 dargelegt.

2. Das Untersuchungsgebiet

Der Hallstätter Gletscher ist mit über 3 km² der größte Gletscher der nördlichen Kalkalpen (Lambrecht und Kuhn, 2007). Im Jahre 2007 wies er die in Tabelle 2.1 angeführten topographischen Daten auf. Er besitzt eine nordostseitige Ausrichtung. Dies sowie die gebietsweise Abschattung durch umrandende Felswände verhindern einen stärkeren Einfluss der direkten Strahlung. Der Hallstätter Gletscher weist oberhalb 2550 Meter Höhe ein größeres Plateau auf, dem sich drei kurze Zungen anschließen. Wie aus Abbildung 2.2 ersichtlich, befindet sich der flächenmäßig größte Teil um 2600 Meter Höhe.

Mit einem Verlust von 41 % der Fläche seit 1850 zeigt der früher Karls-Eisfeld genannte Gletscher eine langsamere Flächenänderung als andere Gletscher der Dachsteinregion (Moser, R. 1997).

Hallstätter Gletscher 2007	
Fläche	3,14 km ²
Höchster Punkt	2900 m
Tiefster Punkt	2154 m
Exposition:	Nordost

Tabelle 2.1. Topographie Hallstätter Gletscher

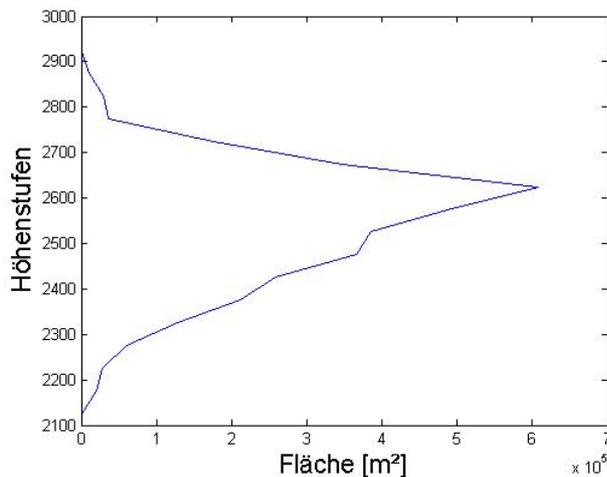


Abbildung 2.2. Flächen-Höhenverteilung des Hallstätter Gletschers

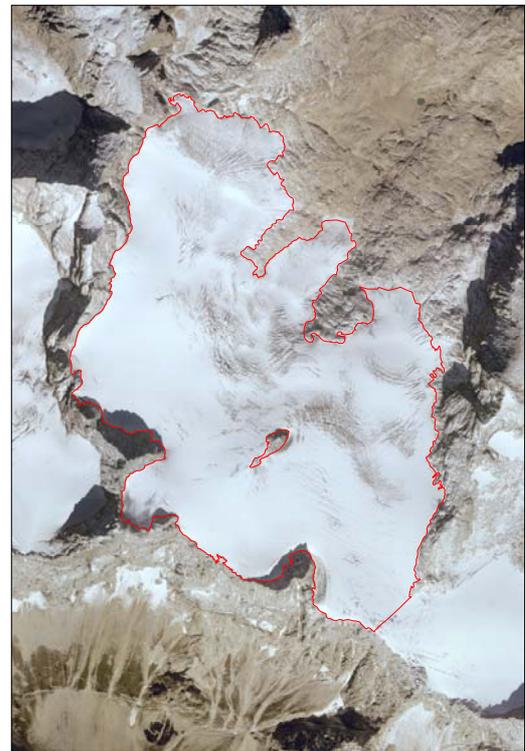


Abbildung 2.3. Orthofoto mit Gletschergrenze 2007 (rot)

3. Klima und Witterungsverlauf

Die klimatischen Randbedingungen für den Hallstätter Gletscher unterscheiden sich von den anderen österreichischen Gletschern mit Massenhaushaltsmessungen, welche am Alpenhauptkamm liegen. Aufgrund seiner Exposition und Lage am

Alpennordrand treten gegenüber dem österreichischen Mittel erhöhte Niederschlagsmengen auf. Dies begründet sich durch luvseitige Staueffekte bei nordwest- bis nordöstlicher Anströmung.

Für den Massenhaushalt eines Gletschers in unserer Alpenregion sind drei meteorologische Parameter von besonderer Bedeutung:

1. der Niederschlag während des Winters,
2. die Sommertemperatur und
3. die Anzahl und Menge der Neuschneefälle während des Sommers.

Betrachtet man den Zeitraum der Winterbilanz von Oktober 2006 bis einschließlich April 2007, waren die Temperaturen etwas höher als im langjährigen Mittel. Die als Schnee akkumulierten Niederschlagsmengen wichen nur leicht negativ vom langjährigen Mittel ab.

Im Sommer 2007 fallen die stark positiven Abweichungen der Monate Mai und vor allem September bezüglich des Niederschlages auf. Die Schneefälle in diesem Zeitraum reduzierten die Eisabschmelzung. Den gleichen Effekt erzielte ein weiterer Schneefall Anfang Juli. Bezüglich der Temperatur zeigte sich der Sommer im Mai und Juni sehr warm, im Juli und August gemäßigt, worauf ein kühler September folgte.

Wie aus den Abbildungen 3.1a und 3.1b ersichtlich, lag in der Dachsteinregion die Gesamtniederschlagsmenge sowie die Temperaturabweichung des Jahres 2007 leicht über dem langjährigen Mittel.

Prozent des Niederschlagsnormalwertes Jahr 2007

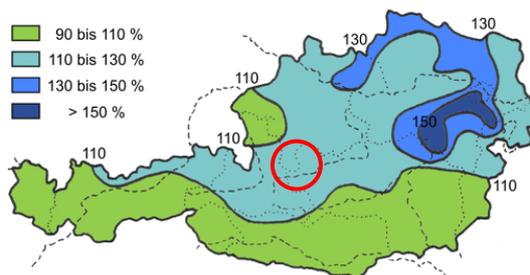


Abbildung 3.1a. Niederschlagsmenge 2007 in % des langjährigen Mittels. Rot markiert die Dachsteinregion.

Temperaturabweichung Jahr 2007

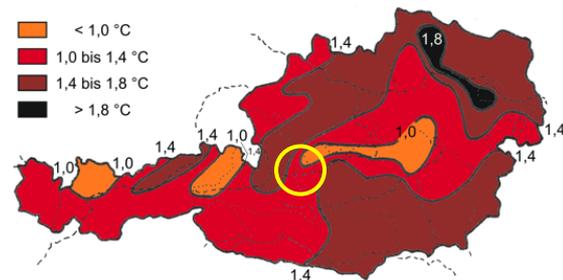


Abbildung 3.b1. Temperaturabweichung 2007 von langjährigem Mittel in °C. Gelb markiert die Dachsteinregion.

4. Massenbilanz

4.1. Methode

Der Massenhaushalt eines Gletschers beschreibt, wie viel Schnee oder Eis in einem Haushaltsjahr dazugekommen oder abgeschmolzen ist. Zur Erstellung der Massenbilanz mit der direkten glaziologischen Methode werden Messungen an mehreren Stellen eines Gletschers vorgenommen. Im Ablationsgebiet (Zehrgebiet) dienen Holzpegel dazu, anhand Ablesens des freien Endes die Schmelze zu ermitteln. Im Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) werden Schächte bis zur Gletscheroberfläche des Vorjahres gegraben. Aus deren Dichteprofil wird das Wasseräquivalent des akkumulierten Schnees errechnet. Der Massenhaushalt wird für den Zeitraum des hydrologischen Jahres vom 1.10.2006 bis 31.09.2007 bestimmt. Aus der Aufsummierung der Akkumulation des Winterhalbjahres mit der Ablation der Schmelzsaison erhält man die Massenbilanz eines Jahres.



Abbildung 4.1a. Herbstschacht. Deutlich zu erkennen ist der Schmutzhorizont der Oberfläche des Winterschnees. Darüber der im September gefallene Neuschnee.



Abbildung 4.2b. Beim Pegelbohren auf dem Hallstätter Gletscher.

4.2. Durchgeführte Feldarbeiten

Pegelablesungen

Das Pegelnetz am Hallstätter Gletscher wurde am 07.09.2006 installiert. Ablesungen fanden am 17.07.2007, 07.08.2007 sowie 23.09.2007 statt. Die Positionen der Pegel und Schächte sind aus Abbildung 4.2a zu entnehmen.

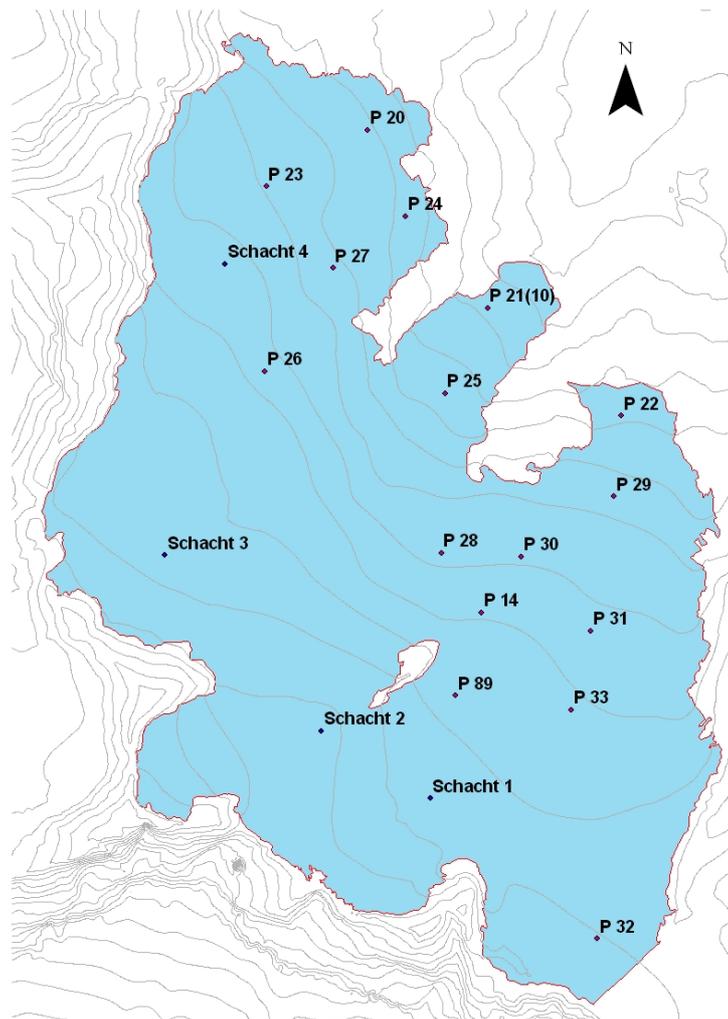


Abbildung 4.2a. Positionen der Pegel und Schächte 2006/2007

Frühjahrsbegehung

Um verschiedene Gletscher zu bestimmten Zeitpunkten vergleichen und die Winterbilanz erstellen zu können, wird stets um den 01. Mai des Jahres die Frühjahrsbegehung durchgeführt. Das Graben von Schächten und die Erstellung des Dichteprofiles sowie die Sondierungen der Schneedecke dienen hierbei zur Ermittlung des akkumulierten Wasseräquivalents.

Die Frühjahrsbegehung des Hallstätter Gletschers fand am 10. und 11. Mai 2007 statt. Als Ausgangspunkt diente die Dachsteinbahn am Hunerkogel. Übernachtet wurde auf der Simonyhütte. Im Rahmen der Begehung wurden vier Schächte gegraben sowie über die östliche Zunge sondiert. Der zwischen dem 1. Mai und den Messungen akkumulierte Schnee wurde in der Auswertung nachträglich herausgerechnet.

Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zusätzlich zu den 4 Schächten und Sondierungen Pegelablesungen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse dieser Messungen wird die Jahresbilanz des hydrologischen Jahres erstellt.

Die Herbstbegehung fand am 23. September 2007 statt. Da zu diesem Zeitpunkt bereits eine durchgängige, frisch akkumulierte Schneedecke vorhanden war, konnte der Gletscher auch zur Herbstbegehung mit Ski befahren werden.

Die Sondierungen lieferten den Wasserwert des bereits gefallenen Neuschnees, welcher der Ablation des Sommers entgegengerechnet werden muss.

Totalisator

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Erstellung von Massenbilanzen ist der Totalisator. Er dient zur Erfassung des Gebietsniederschlages. Der Totalisator wurde am 29. September 2006 im Bereich der tiefsten Zunge des Hallstätter Gletschers auf einem sandigen Schutthügel aufgestellt und in Betrieb genommen und im weiteren Verlauf mehrmals abgelesen.

TOTALISATOR SIMONYHÜTTE				
		Stand	Differenz	Niederschlag [mm]
Aufstellung	29.09.2006	61,0		
2.Ablesung	15.01.2007	45,2	15,8	635,3
3.Ablesung	01.03.2007	40,6	4,6	185,0
4.Ablesung	13.04.2007	36,5	4,1	164,9
(Gefäß teilw. entleert)				
neuer Stand	13.04.2007	43,8		
5.Ablesung	11.05.2007	39,5	4,3	172,9
6.Ablesung	25.07.2007	22,5	17	683,6
(Gefäß teilw. entleert)				
neuer Stand	25.07.2007	42,5		
7. Ablesung				
(entleert/neu befüllt)	24.09.2007	23,4	19,1	768,0
SUMME seit Aufstellung				2609,6

Tabelle 4.2. Messwerte des Totalisators am Hallstätter Gletscher

4.3. Auswertung

Winterbilanz

Für die Winterbilanz wird zunächst der Wasserwert der Schneedecke an den Schachtpositionen aus dem Dichteprofil ermittelt. Dieser wird dann anhand von Sondierungen unter Annahme der mittleren Dichte der Schächte über den Gletscher interpoliert. Aus Tabelle 4.3a gehen Dichte und Wasserwert der Schächte hervor.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2635	5,45	484	2521
2	2720	4,48	457	1937
3	2630	5,66	495	2632
4	2515	7,36	487	3432

Tabelle 4.3a. Frühjahrsschächte

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,015	4	250
2200 - 2250	0,028	7	250
2250 - 2300	0,057	24	425
2300 - 2350	0,126	76	606
2350 - 2400	0,212	171	805
2400 - 2450	0,259	291	1124
2450 - 2500	0,366	668	1825
2500 - 2550	0,385	808	2099
2550 - 2600	0,486	916	1883
2600 - 2650	0,607	1397	2301
2650 - 2700	0,346	887	2561
2700 - 2750	0,177	468	2646
2750 - 2800	0,036	118	3230
2800 - 2850	0,030	96	3250
3850 - 2900	0,011	36	3250
gesamt	3,141	5966	1899

Tabelle 4.3b. Flächen- und Höhenverteilung der Winterbilanz

Tabelle 4.3b zeigt die Werte der Winterbilanz nach Höhenstufen, gültig von 01.10.2006 bis 30.04.2007. Die Winterbilanz $B_{wi} = 5,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ wird durch Integration über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Das entspricht, über die Gesamtfläche, einer spezifischen Winterbilanz von $b_{wi} = 1899 \text{ mm}$.

$$B_{wi} = 5966 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{wi} = 1899 \text{ mm}$$

Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz werden zusätzlich zu den Schächten die Messwerte der Ablation an den Pegeln hinzugezogen (Tabelle 4.3c). Mit den Messungen zur Herbstbegehung am Ende des hydrologischen wird erneut der Wasserwert an den Schachtpositionen ermittelt (Tabelle 4.3d). An den Pegeln wird anhand des über die Ablationssaison freigelegten Endes unter Verwendung der mittleren Dichte von Eis $\rho = 900 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ der Massenverlust an der Eisoberfläche berechnet.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
P 33	-1475	P 25	-2317
P 31	-1850	P 21(10)	-4634
P 30	-860	P 24	-3093
P 29	-2389	P 20	-3345
P 22	-4785	P 27	-2353
P 14	-1510		

Tabelle 4.3c. Wasserwerte der Pegel

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m ³]	Wasserwert [mm]
1	2635	2,41	608	1469
2	2720	2,79	604	1692
3	2630	3,10	500	1165
4	2515	4,14	480	1470

Tabelle 4.3d. Herbstschächte

Höhenstufe m	Fläche km ²	Bilanz 10 ³ m ³	Wasserwert mm
2150 - 2200	0,015	-84	-5528
2200 - 2250	0,028	-136,1	-4805
2250 - 2300	0,057	-197	-3477
2300 - 2350	0,126	-411,7	-3271
2350 - 2400	0,212	-569,6	-2691
2400 - 2450	0,259	-464,4	-1793
2450 - 2500	0,366	-362,2	-990
2500 - 2550	0,385	-259,8	-675
2550 - 2600	0,486	-114,9	-236
2600 - 2650	0,607	532,4	877
2650 - 2700	0,346	476,2	1375

2700 - 2750	0,177	284,2	1608
2750 - 2800	0,036	59,2	1625
2800 - 2850	0,03	48,1	1625
3850 - 2900	0,011	17,9	1625
gesamt	3,141	-1181,7	-376

Tabelle 4.3e. Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz

Durch Integration der jeweiligen Flächen in den Höhenstufen und dem Bezug auf die Gesamtfläche des Gletschers wird die spezifische Jahresmassenbilanz ermittelt.

$$B = -1181,7 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -376 \text{ mm}$$

Aus den Sondierungen der Altschneedicke, Fotos, Webcam-Bildern und den Wasserwerten an Schächten und Pegeln wird eine Karte mit Isoflächen gleicher spezifischer Massenbilanz erstellt. Damit werden über die Flächen- und Höhenverteilung die Jahresbilanz sowie die Bilanz der einzelnen Höhenstufen berechnet. Abbildung 4.3f zeigt das Akkumulationsgebiet (grün) und das Ablationsgebiet (gelb/rot). Diese werden von der Nulllinie getrennt.

Massenbilanz Hallstätter Gletscher

01.10.2006 - 30.09.2007

erstellt von
Kay Helfricht
Institut für Meteorologie und Geophysik
Universität Innsbruck
den 10.12.2007

Legende

 Gletschergrenze 2002

 Gleichgewichtslinie

Massenbilanz Isoflächen

Wasserwert (cm)

-  -57,5
-  -52,5
-  -47,5
-  -42,5
-  -37,5
-  -32,5
-  -27,5
-  -22,5
-  -17,5
-  -12,5
-  -7,5
-  -2,5
-  12,5
-  37,5
-  62,5
-  87,5
-  112,5
-  137,5
-  162,5

0 150 300 600 900 1.200 Meters

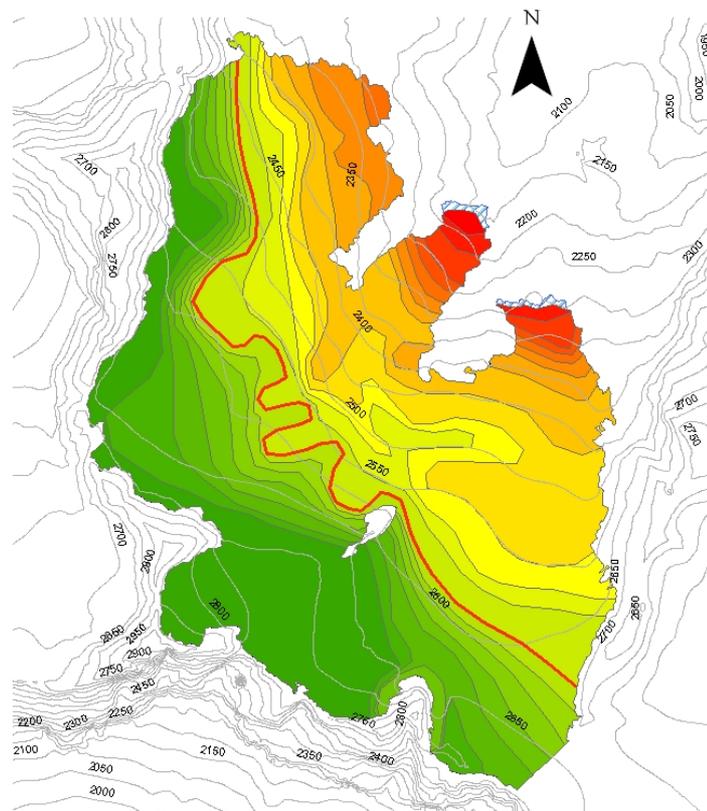


Abbildung 4.3f. Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz
gültig für den 30.09.2007
und Gletschergrenze von 2002

Am Hallstätter Gletscher sind diese zwei Gebiete annähernd gleichgroß. Das Akkumulationsgebiet ist sehr ausgeprägt, da der Gletscher im oberen Gebiet von Felsen umgeben ist. Diese schützen zu einem vor Windverfrachtung und erzeugen je nach Anströmung zusätzlich Lee- bzw. Staueffekte, welche sich positiv auf den Aufbau der Schneedecke auswirken. Auch tragen die Wände mit Lawinen und Schneerutschen direkt zur Akkumulation bei. Zudem schützen sie im Sommer besonders am späteren Nachmittag vor dem Strahlungseinfluss der Sonne. Somit lag das ganze obere Plateau des Gletschers im Haushaltsjahr 2006/07 über der Gleichgewichtslinie. Da die Zungen des Hallstätter Gletschers verhältnismäßig kurz sind, tritt das Maximum der Ablation nur auf einer geringen Fläche auf, was einem stärker negativ ausfallenden Massenhaushalt ebenfalls entgegenwirkt.

Sommerbilanz

Die Sommerbilanz ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Massenhaushalt des hydrologischen Jahres und der Winterbilanz.

$$b_{so} = b - b_{wi}$$

Für die Sommerbilanz ergeben sich daher folgende Werte:

$$B_{so} = -7417 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -2275 \text{ mm}$$

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 4.4a zeigt nochmals die Beziehung zwischen Jahres-, Winter- und Sommerbilanz auf. Die Höhe der Gleichgewichtslinie wurde aus den Spezifischen Massenbilanzen der Höhenstufen ermittelt.

	Jahresbilanz		Winterbilanz		Sommerbilanz	
Sc=	1.496	km ²	3.141	km ²	0	km ²
Bc=	1682,9	10 ³ m ³	5965,6	10 ³ m ³	0	10 ³ m ³
bc=	1125	mm	1899	mm	0	mm
Sa=	1.645	km ²	0	km ²	3.141	km ²
Ba=	-2864,6	10 ³ m ³	0	10 ³ m ³	-7147,4	10 ³ m ³
ba=	-1741	mm	0	mm	-2275	mm
S=	3.141	km ²	3.141	km ²	3.141	km ²
B=	-1181,7	10 ³ m ³	5965,6	10 ³ m ³	-7147	10 ³ m ³
b=	-376	mm	1899	mm	-2275	mm
Sc/S=	0,476		1		0	
ELA=	2583	m				

Tabelle 4.4a. Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz

Die Abbildungen 4.4b und 4.4c geben die Jahresbilanz wieder.

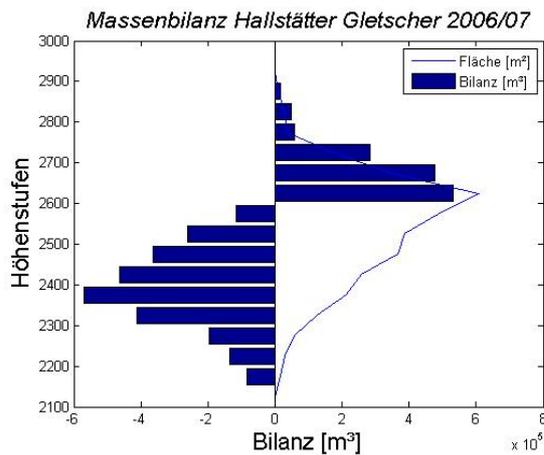


Abbildung 4.4b. Bilanz der Höhenstufen

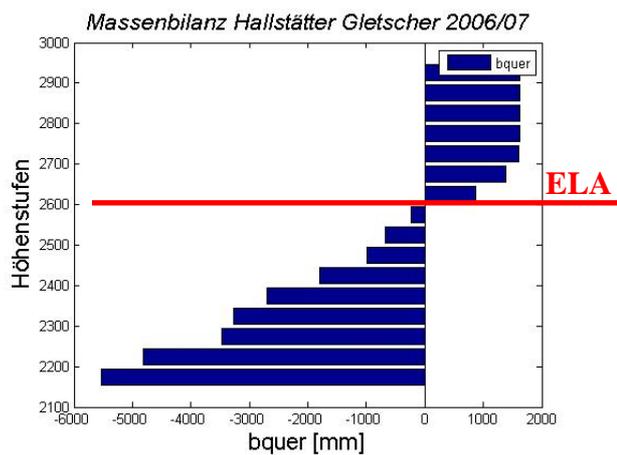


Abbildung 4.4c. Mittlere spezifische Massenbilanz der Höhenstufen und ELA

Vergleich mit anderen Gletschern

	Hallstätter Gletscher	Hintereisferner	Kesselwandferner	Jamtalferner	
Sc=	1.496	0,03	0,82	0,193	km²
Bc=	1682,9	0,004	0,210	0,02	10 ⁶ m³
bc=	1125	133	256	125	mm
Sa=	1.645	7,18	3,00	3,238	km²
Ba=	-2864,6	-12,960	-3,403	-4,96	10 ⁶ m³
ba=	-1741	-1805	-1134	-1530	mm
S=	3.141	7,21	3,82	3,431	km²
B=	-1181,7	-12,956	-3,193	-4,94	10 ⁶ m³
b=	-376	-1798	-836	-1440	mm
Sc/S=	0.476	0,00	0,22	0,06	
ELA=	2583	>Gipfelniveau	3280	>3100	m

Abbildung 4.4d. Vergleich der Massenbilanzgrößen des Hallstätter Gletschers mit Werten von Hintereis-, Kesselwand- und Jamtalferner für das Haushaltsjahr 2006/2007

Im Vergleich mit anderen Gletschern Österreichs zeigt sich, dass der Hallstätter Gletscher einen weniger negativen Massenhaushalt für das hydrologische Jahr 2006/2007 aufweist. Auch fällt die verhältnismäßig niedrige Höhe der Gleichgewichtslinie gegenüber den anderen Gletschern auf. Ursachen für den ausgewogeneren Massenhaushalt sind hauptsächlich der hohe Gebietsniederschlag, das Verhältnis von Akkumulations- zu Ablationsfläche sowie die nordostseitigen Exposition.

5. Ausblick

Das Projekt zur Untersuchung des Massenhaushaltes am Hallstätter Gletscher ist auf 5 Jahre ausgelegt. Bereits im ersten Jahr zeigt sich eine nur leicht negative Massenbilanz. Mit fortführender Auswertung der registrierten Wetterdaten zusätzlich zu denen des Massenhaushaltes wird es die Aufgabe sein, das Verhalten und die Reaktion des Gletschers sowie dessen Bilanz auf das Klima zu verstehen.

6. Anhang

6.1. Mitarbeiter

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von Mag. K. Reingruber, Mag. W. Traunmüller, Mag. J. Lang, Dr. Mag. A. Fischer, Mag. M. Olefs; M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht stammen von K. Helfricht

6.2. Definitionen

Es wurden folgende Notationen verwendet:

S	gesamte Gletscherfläche
B	Gesamtjahresbilanz
b	spezifische Massenbilanz
S_a	Fläche des Ablationsgebietes
B_a	Gesamtbilanz der Ablation
b_a	spezifische Bilanz der Ablation
S_c	Fläche des Akkumulationsgebietes
B_c	Gesamtbilanz der Akkumulation
b_c	spezifische Bilanz der Akkumulation
wi	als Index bedeutet Winter
so	als Index bedeutet Sommer
ELA	Höhe der Gleichgewichtslinie

Für die spezifische Bilanz gilt:

$$b = b_{wi} + b_{so} \qquad b = B / S$$

$$b_{wi} = B_{wi} / S$$

$$b_{so} = b - b_{wi} \qquad b_{so} = B_{so} / S$$

$$b_c = B_c / S_c \qquad b_a = B_a / S_a$$

Für die Fläche und die Gesamtbilanz gilt:

$$S = S_c + S_a \qquad \text{bzw.} \qquad B = B_c + B_a$$

6.3. Literatur

Hoinkes, H. 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 6, S.37 - 90.

IPCC, 2008. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.*, Cambridge University Press.

Lambrecht, A. und M. Kuhn, 2007: Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory, *Annals of Glaciology*, 46, 177-184.

Moser, R. 1997: *Dachsteingletscher und deren Spuren im Vorfeld.* Musealverein Hallstatt. (Hrsg.). Hallstatt

Paterson, WSB., 1994: *The Physics of Glaciers*, 3. Auflage, by Pergamon Press, Elsevier Science Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK