

HALLSTÄTTER GLETSCHER

MASSENHAUSHALT UND KLIMA 2012/2013



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

MAG. L. HARTL, MAG. M. STOCKER-WALDHUBER, MAG. K. REINGRUBER
DR. A. FISCHER

23.11.2013

im Auftrag von:

Energie AG Oberösterreich	Land Oberösterreich
Böhmerwaldstrasse 3	Umwelt, Energie, Wasser und KonsumentInnenchutz
Postfach 298	Promenade 37
A-4021 Linz, Austria	A-4021 Linz, Austria
service@energieag.at	LR.Anschober@ooe.gv.at
Tel.: +4305/9000 – 0	Tel.: +43(0)732/7720 – 12081
Fax.: +430800/818001	Fax.: +43(0)732/7720 – 12099

Durchführung der Arbeit

www.dachsteingletscher.info

Mag. Martin Stocker-Waldhuber	martin.stocker-waldhuber@uibk.ac.at
	Tel.: +43(0)512 507 5492
	Fax.: +43(0)512 507 2924
Mag. Klaus Reingruber	office@blueskywetter.at
	Tel.: +43(0)7674 20660
	Fax.: +43(0)7674 2066
Dr. Andrea Fischer	andrea.fischer@uibk.ac.at
	Tel.: +43(0)512 507 4950
	Fax.: +43(0)512 507 4960
Mag. Lea Hartl	lea.hart@student.uibk.ac.at

Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften

Technikerstraße 21a, Otto Hittmair-Platz 1, A-6020 Innsbruck, Österreich

www.mountainresearch.at

Institut für Geowissenschaften und Geographie, Physische Geographie, Martin-Luther-Universität,

Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle, Deutschland

<http://www.geo.uni-halle.de>

BLUESKY Wetteranalysen, Traunmüller und Reingruber OEG, Technisches Büro für Meteorologie

Steinhüblstrasse 1, A-4800 Attnang-Puchheim, Österreich, office@blueskywetter.at

Kurzfassung

Seit Herbst 2006 werden am Hallstätter Gletscher Massenbilanzmessungen durchgeführt. Dabei wird mit Schneeschächten und Schmelzpegeln festgestellt, welche Menge an 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 ermöglichen die Forschungsarbeiten unter der Leitung des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der ÖAW in Zusammenarbeit mit BLUE SKY Wetteranalysen.

Das hydrologische Jahr 2007 zeigte eine leicht negative Bilanz mit einem mittleren Eisdickenverlust von 42 cm. Die Messungen der Massenbilanz 2008 ergaben einen mittleren Höhenverlust des Hallstätter Gletscher von 78 cm (Helfricht, 2009). 2008/09 reduzierte sich die Eisdicke gemittelt über die Gesamtfläche um 103 cm, also rund einen Meter. Im hydrologischen Jahr 2009/10 ergab die Berechnung des Massenhaushalts einen mittleren Verlust von 70 cm Wasseräquivalent über die Gesamtfläche, was einem Gesamtverlust von rund 2 Millionen m^3 Wasser entspricht. Das Jahr 2010/11 war mit -201 cm das Negativste seit Beginn der Messungen. Gemittelt über die gesamte Gletscherfläche betrug der Höhenverlust im Jahr 2011/12 123 cm was einem Gesamtverlust von ca. 3,7 Millionen m^3 Wasser entspricht. Das Haushaltsjahr 2012/13 war mit einem Höhenverlust von 35 cm Wasseräquivalent das Jahr mit den geringsten Verlusten seit Messbeginn, wobei die ergiebigen Schneefälle im Mai und Juni für die Bilanz ausschlaggebend waren.

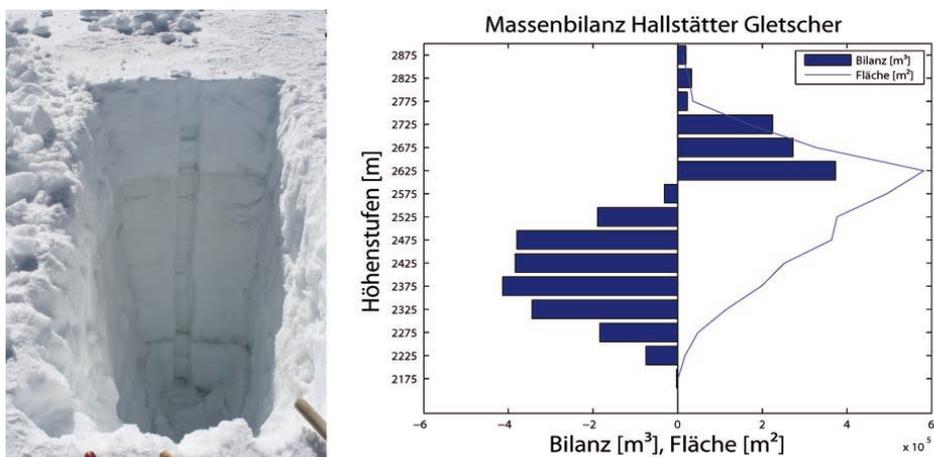


Abbildung 0.1: Der Schneeschacht 2 am 03.10.2013 (links); Massenbilanz und Verteilung der Fläche des Hallstätter Gletschers nach Höhenstufen 2012/13 (rechts).

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Inhalt	1
1. Ziel der Massenbilanzmessungen	2
2. Das Untersuchungsgebiet	3
3. Klima und Witterungsverlauf	4
4. Massenbilanz	6
4.1. Methode	6
4.2. Durchgeführte Arbeiten	7
4.2.1. Pegelablesungen	7
4.2.2. Frühjahrsbegehung	7
4.2.3. Herbstbegehung	8
4.2.4. Totalisator	9
4.3. Auswertung	10
4.3.1. Winterbilanz	10
4.3.2. Jahresbilanz	12
4.3.3. Sommerbilanz	16
4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse	16
A. Anhang	18
A.1. Mitarbeiter	18
A.2. Definitionen	18
A.3. Fotos	20

1. Ziel der Massenbilanzmessungen

Gletscher sind empfindliche Indikatoren für Klimaänderungen. Dennoch gibt es weltweit nur wenige Gletscher an denen langjährige Reihen des Massenhaushaltes gemessen werden (IPCC, 2007). 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 Massengewinns, der Akkumulationszone, und der Bereich des Massenverlustes, der Ablationszone. Abbildung 1.1 zeigt einen schematischen Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers.

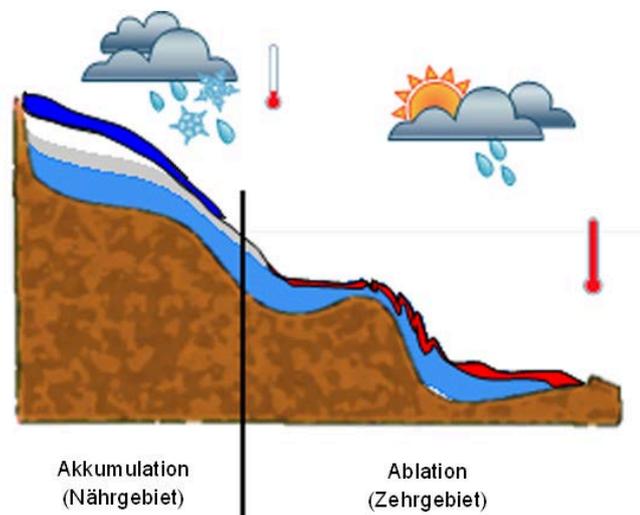


Abbildung 1.1: Schematischer Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers. Farblich dargestellt sind die Eismasse des Gletschers (hellblau), im Bereich der Akkumulation Schnee (dunkelblau) und Firn (weiß/grau) sowie der Massenverlust (rot) im Ablationsgebiet. Die Thermometer geben die relativen 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 Alpenhauptkamm auf. In Folge dessen kann sich der Gletscher in niedrigeren Höhenstufen halten. In Verbindung mit meteorologischen Daten und Massenbilanzmessungen über mehrere Jahre können solche Beziehungen näher untersucht werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse für das Massenhaushaltsjahr 2012/13 dargelegt.

2. Das Untersuchungsgebiet

Der Hallstätter Gletscher ist mit über 3 km² der größte Gletscher der nördlichen Kalkalpen (Lambrecht und Kuhn, 2007). Im Jahre 2009 wies er die in Tabelle 2.1 angeführten topographischen Daten auf. Er ist nordostseitig ausgerichtet und durch Felswände umrandet. An das große Plateau oberhalb von 2550 Meter Höhe schließen drei kurze Zungen an. Wie aus Abbildung 2.1 ersichtlich, befindet sich die flächenmäßig größte Höhenzone zwischen 2600 m und 2650 m. Mit einer Fläche von 3,016 km² (Gletschergrenze 2009) verlor der Gletscher rund 43% seiner Ausdehnung gegenüber dem Gletscherhochstand 1856 (Helfricht, 2009).

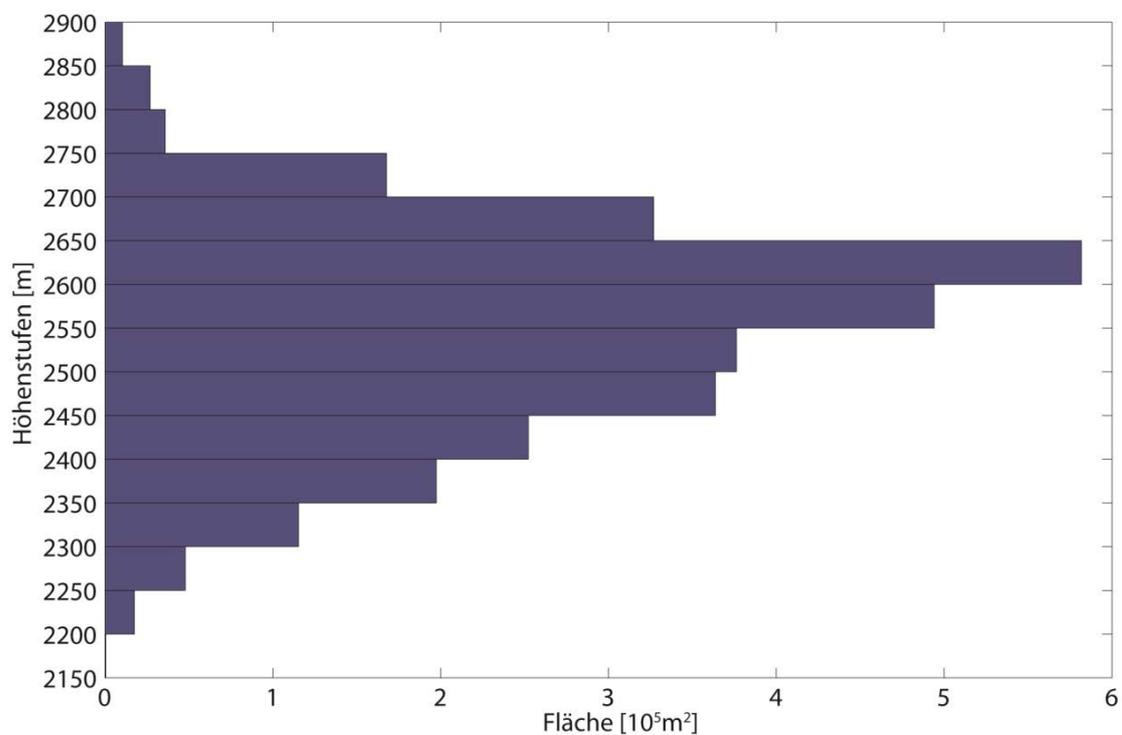


Abbildung 2.1: Flächen-Höhenverteilung des Hallstätter Gletschers 2009.

Hallstätter Gletscher 2009		
Fläche	3,016	<i>km²</i>
Höchster Punkt	2900	<i>m</i>
Tiefster Punkt	2191	<i>m</i>
Exposition	NO	

Tabelle 2.1: Topographie Hallstätter Gletscher (Stand 2009).

3. Klima und Witterungsverlauf

Die klimatischen Randbedingungen für den Hallstätter Gletscher unterscheiden sich von denen anderer österreichischer Gletscher mit Massenhaushaltsmessungen, welche am Alpenhauptkamm liegen (Fischer et al., 2009). Aufgrund seiner Exposition und Lage am Alpennordrand treten gegenüber dem österreichischen Mittel erhöhte Niederschlagsmengen auf (Abb. 3.1). 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.

Das Hydrologische Jahr vom 1.10.2012 bis zum 30.09.2013 startete mit durchschnittlichen Niederschlagswerten im Oktober. Der November verlief deutlich trockener als im langjährigen Mittel. Auf einen durchschnittlichen Dezember folgte ein niederschlagsreicher Januar. Der Februar verlief durchschnittlich, März und April waren jedoch deutlich trockener als im Mittel, wobei im April auch überdurchschnittlich warme Temperaturen verzeichnet wurden. Entsprechend geringe Schneehöhen wurden bei der Frühjahrsbegehung gemessen. (Abb. 3.2).

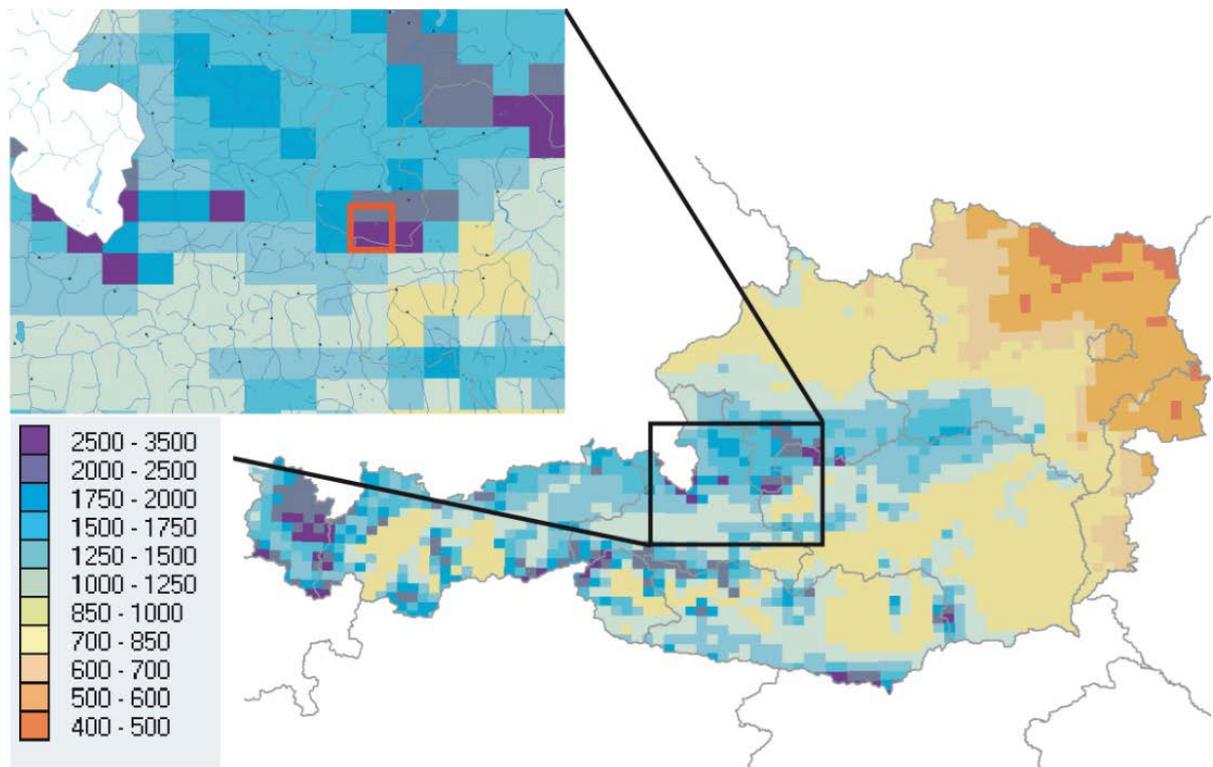


Abbildung 3.1: Mittlere Jahresniederschlagsmenge in mm (Hydrologischer Atlas 2003). Im Ausschnitt rot markiert die Lage des Hallstätter Gletschers.

Für die Jahresbilanz 2013 ausschlaggebend waren die ergiebigen Schneefälle im Mai und Juni. Während des Hochwasserereignisses Anfang Juni fielen in 5 Tagen rund 2 Meter Neuschnee. In der Folge blieb der Gletscher bis weit in den Juli hinein schneebedeckt, wodurch die Ablation vergleichsweise spät einsetzte. Juli und August waren überdurchschnittlich warm. Dank der Neuschneefälle im August und September wurde die Ablation jedoch deutlich gebremst.

Das Hydrologische Jahr vom 1.10.2012 bis zum 30.09.2013 zeichnete sich im Dachsteingebiet im Allgemeinen durch die vergleichsweise geringen Neuschneemengen im Winter und die umso ergiebigeren Schneefälle in den Frühlings- und Sommermonaten aus (Abb. 3.2).

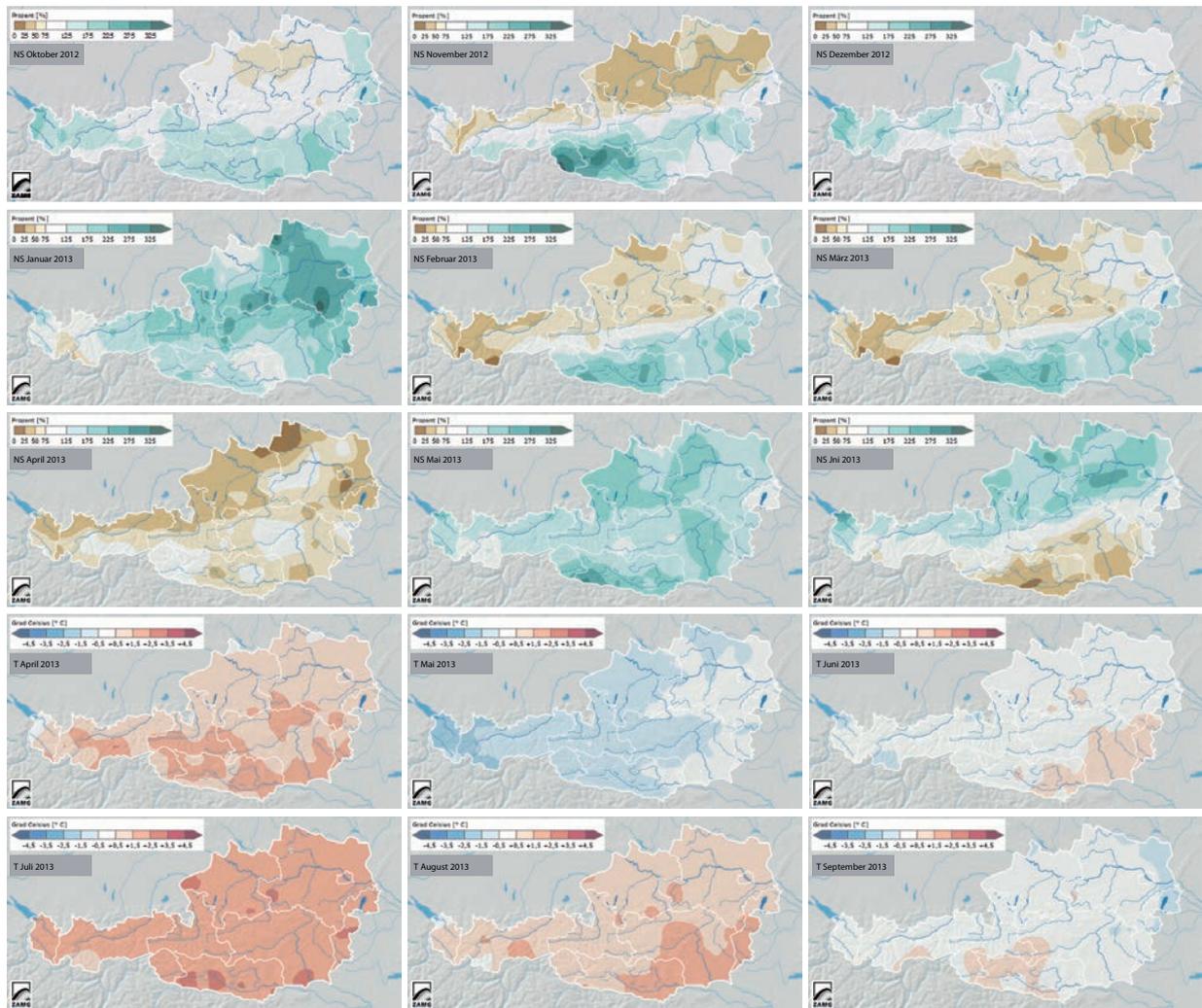


Abbildung 3.2: Übersicht der Abweichungen vom langjährigen Mittel des Niederschlags (NS) und der Temperatur (T) (Mittel bezogen auf die Periode 1971 bis 2000). Die Abbildungen werden von der ZAMG unter www.zamg.ac.at zur Verfügung gestellt.

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 vorgenom-

men (Hoinkes, 1970). Im Ablationsgebiet (Zehrgebiet) dienen Holzpegel dazu, anhand Ablebens 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. bis 30.09. des darauffolgenden Jahres bestimmt. Aus der Aufsummierung der Akkumulation des Winterhalbjahres mit der Ablation der Schmelzaison erhält man die Massenbilanz eines Jahres (Paterson, 1994).

4.2. Durchgeführte Arbeiten

4.2.1. Pegelablesungen

Das Pegelnetz am Hallstätter Gletscher wurde am 07.09.2006 installiert. 2007 folgte eine Erweiterung des Pegelnetzes. Auch 2008 wurden neben dem Erneuern der alten Pegel weitere hinzugefügt. 2009 wurden die bislang im Firn verbliebenen Pegel DP23, DP28 sowie der alte Pegel 32 (DP32A bzw DP33) wiedergefunden. Der Pegel DP21 auf der mittleren Zunge wurde aufgrund seiner Nähe zur Gletschergrenze nach oben versetzt und am 25.09.2013 gänzlich entfernt. 2010, 2011, 2012 und 2013 wurden erneut mehrere Pegel neu gebohrt und regelmäßig abgelesen. Die Ablesungen der Pegel fanden am 04.10.2012, 25.07.2013, 22.08.2013, 25.09.2013 sowie zur Herbstbegehung am 03.10.2013 statt. Die Positionen der Pegel sind der Abbildung 4.1 zu entnehmen.

4.2.2. Frühjahrsbegehung

Zur Erstellung der Winterbilanz eines Gletschers wird 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 der Verteilung der Schneeakkumulation und der Berechnung des entsprechenden Wasseräquivalents. Die Frühjahrsbegehung des Hallstätter Gletschers 2013 fand am 16. und 17. Mai statt. Als Ausgangspunkt diente die Dachsteinbahn am Hunerkogel, wo auch übernachtet wurde. Im Rahmen der Begehung wurden 2 Schächte gegraben (Abb. 4.1), sowie über die Gletscherzungen sondiert. Seit dem 1. Mai gefallener Neuschnee wurde von der Bilanz abgezogen. Um weitere Informationen zur Schneehöhe zu gewinnen, wurden Bodenradarmessungen durchgeführt. Allerdings stellte sich leider ein Großteil der so gewonnenen Daten wegen eines technischen Problems als unbrauchbar heraus.

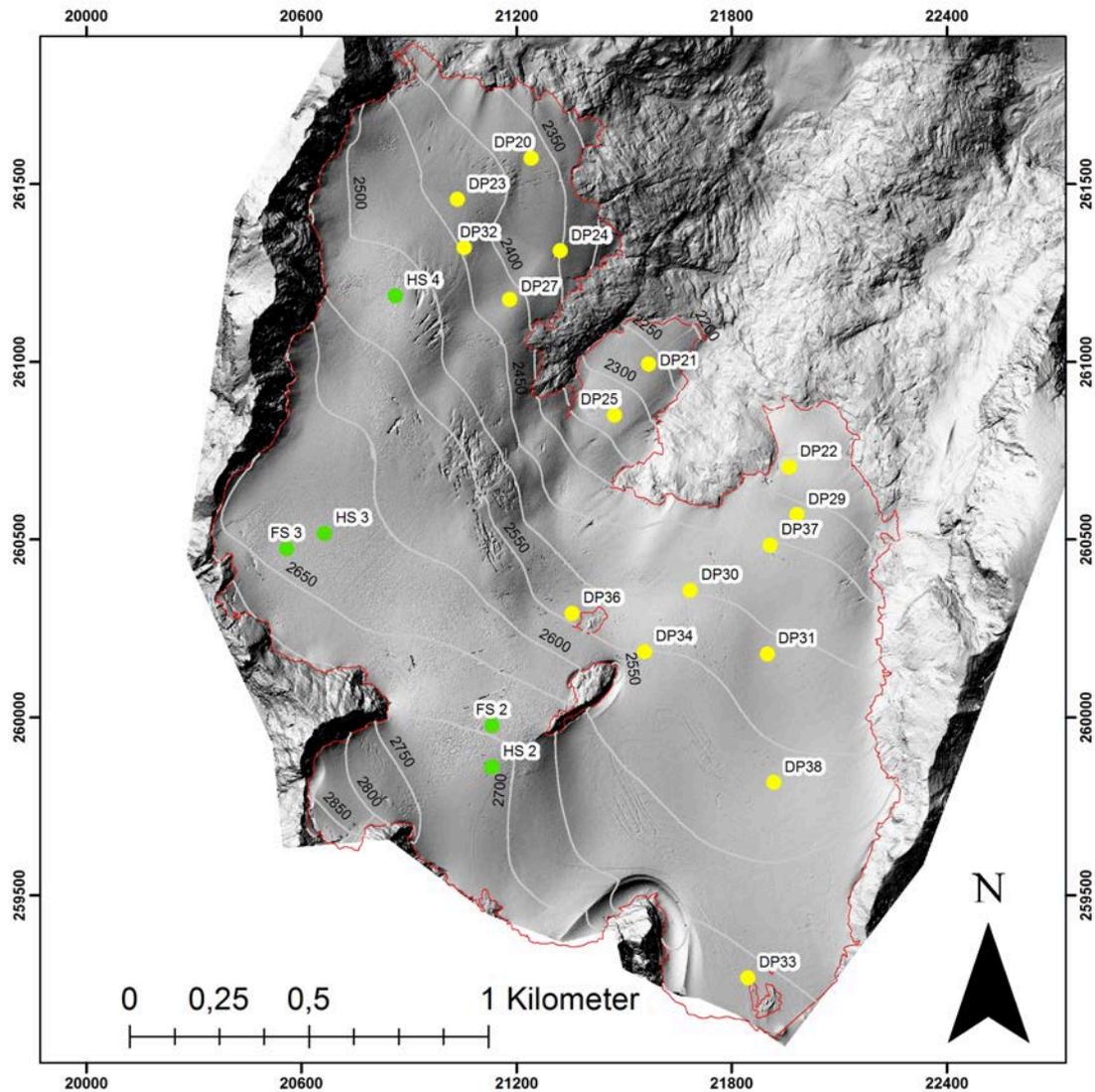


Abbildung 4.1: Positionen der Pegel (DP) und Schächte (HS - Herbstschächte, FS - Frühlingschächte) 2012/13 mit 50 m Höhenschichtlinien und Gletschergrenze 2009 (rot). Kartengrundlage beleuchtetes Höhenmodell aus Laserscandaten (2007) in Gauß Krüger Koordinaten A31.

4.2.3. Herbstbegehung

Die Herbstbegehung dient zur Bestimmung der Schneerücklagen, welche die Ablationssaison bis zum 30. September des Jahres überdauert haben. Auch hier wird die räumliche Verteilung durch Sondierungen aufgenommen. Mit der anhand von Schneeschächten berechneten mittleren Dichte des Schnees wird das Wasseräquivalent der verbliebenen Schneedecke ermittelt. Zusätz-

lich werden Pegelablesungen durchgeführt, um die maximale Eisablation an den Pegelpositionen zu bestimmen. Anhand der Ergebnisse dieser Messungen wird die Jahresbilanz des hydrologischen Jahres erstellt. Die Herbstbegehung fand am 03. Oktober 2013 statt. Ausgangspunkt war die Dachsteinbahn am Hunerkogel. Übernachtet wurde auf der Seethaler Hütte (Dachsteinwarte). Es wurden 3 Schächte gegraben. (Abb. 4.1).

4.2.4. Totalisator

Der Totalisator dient der Erfassung des Gebietsniederschlags und befindet sich im Bereich der tiefsten Zunge des Hallstätter Gletschers. Im Verlauf des Jahres wird er regelmäßig abgelesen. Die Ablesung wird anschließend mit Korrekturen auf den Ersten des Monats gerechnet (Tab. in Abb. 4.2), um so die Werte mit anderen Niederschlagsmessungen in den Alpen zu vergleichen (Die Korrekturdaten wurden vom Land Oberösterreich zur Verfügung gestellt). Somit handelt es sich bei der Monatsrechnung in Abbildung 4.2 nicht um Messwerte sondern um korrigierte Niederschlagsdaten.

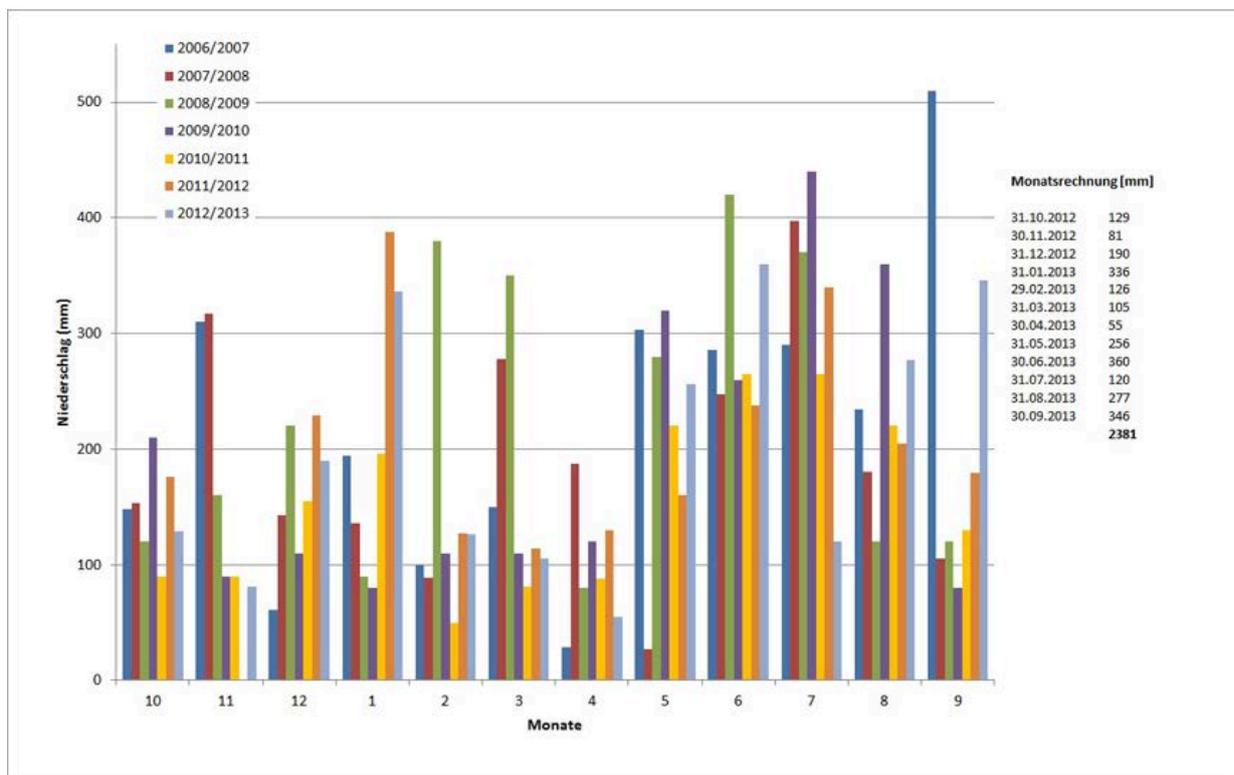


Abbildung 4.2: Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen der Haushaltsjahre 2006/07 bis 2012/13 sowie die Messwerte des Totalisators 2012/13 in mm.

Mit einem Jahresniederschlag von 2381 *mm* lag das Haushaltsjahr 2012/13 etwa im Durchschnitt der Jahre 2006/07 bis 2009/10 mit 2615 *mm* im Jahr 2006/07, 2007/08 mit 2259 *mm*, 2008/09 mit 2710 *mm* und mit 2290 *mm* im Jahr 2009/10. Im Jahr 2010/11 lag der Jahresniederschlag mit 1850 *mm* deutlich unter den typischen Werten, während 2011/12 mit 2287 *mm* wieder ähnlich feucht war wie das vergangene Haushaltsjahr. Für den Zeitraum der Winterbilanz summierten sich 1022 *mm* Niederschlag. Die niederschlagsreichsten Monate des hydrologischen Jahres 2012/13 waren Januar, Juni und September 2013 mit jeweils über 300 *mm* Monatsniederschlag.

4.3. Auswertung

4.3.1. Winterbilanz

Die Winterbilanz bezieht sich auf den Zeitraum vom 01.10. eines Jahres bis zum 30.04. des darauffolgenden Jahres. Für die Winterbilanz wird zunächst der Wasserwert der Schneedecke an den Schachtpositionen aus dem Dichteprofil ermittelt. Anhand von Sondierungen wird die Höhe der Schneedecke gemessen. Unter Verwendung der mittleren Dichte aus den Schneeschnitten wird der Wasserwert an den Sondierungspositionen berechnet. Wurde vor dem 01.10. bereits eine Schneedecke akkumuliert, so muss diese von den Bilanzwerten abgezogen werden. Zwischen den Punktmessungen wird der erhaltene Wasserwert der Winterschneedecke über die Fläche des Gletschers interpoliert. Die Verteilung der Winterbilanz ist in Abbildung 4.3 ersichtlich. Aus Tabelle 4.1 gehen Dichte und Wasserwert der Schächte hervor. Tabelle 4.2 zeigt die Werte der Winterbilanz nach Höhenstufen, gültig von 01.10.2012 bis 30.04.2013. Die Winterbilanz B_{wi} wird durch Integration über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Die mittlere spezifische Winterbilanz b_{wi} erhält man durch Division von B_{wi} durch die Gesamtfläche.

$$B_{wi} = 5059,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{wi} = 1677 \text{ mm}$$

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
2	3,22	546	1532
3	4,94	520	2336

Tabelle 4.1: Frühjahrsschächte 2013.

Höhenstufe [m]	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2850 – 2900	0,010	28,1	2696
2800 – 2850	0,027	68,1	2526
2750 – 2800	0,036	81,9	2282
2700 – 2750	0,168	329,5	1964
2650 – 2700	0,327	608	1859
2600 – 2650	0,582	1124,6	1932
2550 – 2600	0,494	865,2	1750
2500 – 2550	0,376	620,3	1648
2450 – 2500	0,364	548,5	1507
2400 – 2450	0,252	358,5	1420
2350 – 2400	0,198	248,9	1260
2300 – 2350	0,115	124,1	1076
2250 – 2300	0,048	42,5	886
2200 – 2250	0,018	10,9	622
2150 – 2200	0,000	0,2	500
Gesamt	3,016	5059,4	1677

Tabelle 4.2: Flächen- und Höhenverteilung der Winterbilanz 2012/13.

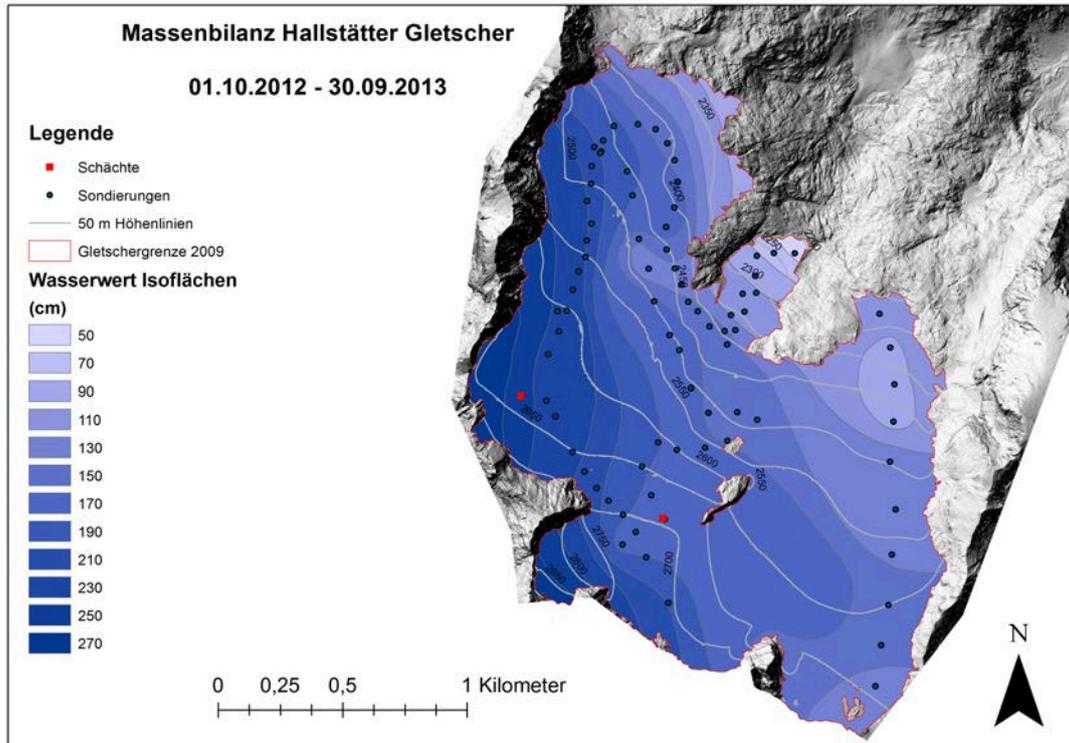


Abbildung 4.3: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz 2012/13.

4.3.2. Jahresbilanz

Für die Massenbilanz des hydrologischen Jahres vom 01.10. bis 30.09. werden zusätzlich zu den ermittelten Rücklagen an den Schneeschnäben die Messwerte der Ablation an den Pegeln hinzugezogen (Tab. 4.3). An den Pegeln wird anhand des über die Ablationssaison freigelegten Endes unter Verwendung der mittleren Dichte von Eis $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ der Massenverlust an der Eisoberfläche ermittelt. Entsprechend der Winterbilanz wird der Wasserwert an den Schachtpositionen berechnet (Tab. 4.4). Aus den Sondierungen der Altschneedecke, Fotos, Webcam-Bildern und den Wasserwerten an Schächten und Pegeln wird eine Karte mit Isoflächen gleicher spezifischer Massenbilanz erstellt (Abb. 4.4). Über die Flächen- Höhenverteilung der spezifischen Bilanz wird die mittlere spezifische Bilanz der einzelnen Höhenstufen berechnet (Tab. 4.5, Abb. 4.5). Durch Integration der jeweiligen Flächen in den Höhenstufen mit ihren zugehörigen mittleren spezifischen Bilanzen wird die Nettojahresbilanz B berechnet. Nach Division dieser durch die Gesamtfläche des Gletschers erhält man die mittlere spezifische Jahresbilanz b .

$$B = -1057,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -351 \text{ mm}$$

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert[mm]
DP 20	-2601	DP 30	-1240
DP 21	-4239	DP 31	-1108
DP 22	-1629	DP 32	-1028
DP 23	-86	DP 33	-358
DP 24	-2898	DP 34	-1129
DP 25	-3834	DP 36	-413
DP 27	-1354	DP 37	-2088
DP 28	-578	DP 38	-752
DP 29	-1908		

Tabelle 4.3: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2012-30.09.2013).

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
Schacht 2	2,28	597	1357
Schacht 3	2,37	583	1381
Schacht 4	1,06	490	519

Tabelle 4.4: Herbstschächte 2013.

Höhenstufe [m]	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2850 – 2900	0,010	19,2	1846
2800 – 2850	0,027	32,6	1209
2750 – 2800	0,036	22,4	624
2700 – 2750	0,168	224	1335
2650 – 2700	0,327	272,4	833
2600 – 2650	0,582	372,5	640
2550 – 2600	0,494	-30,9	-63
2500 – 2550	0,376	-189,1	-502
2450 – 2500	0,364	-379,9	-1044
2400 – 2450	0,252	-383,5	-1519
2350 – 2400	0,198	-413,2	-2092
2300 – 2350	0,115	-343,9	-2982
2250 – 2300	0,048	-183,8	-3835
2200 – 2250	0,018	-74,7	-4250
2150 – 2200	0,000	-2,0	-4250
Gesamt	3,016	1057,9	-351

Tabelle 4.5: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz 2012/13.

Aufgrund der großen Neuschneemengen im Winter und der starken Ablation im Sommer bildete sich ein starker Massenbilanzgradient aus. Während auf der mittleren Gletscherzunge Ablationsbeträge von über 5 m Wasseräquivalent gemessen wurde, lagen am Plateau noch bis zu einem Meter Schnee. Die Gleichgewichtslinie (equilibrium line altitude – ELA) lag mit einer mittleren Höhe von 2584 m ähnlich tief wie im Jahr 06/07 (Abb. 4.5).

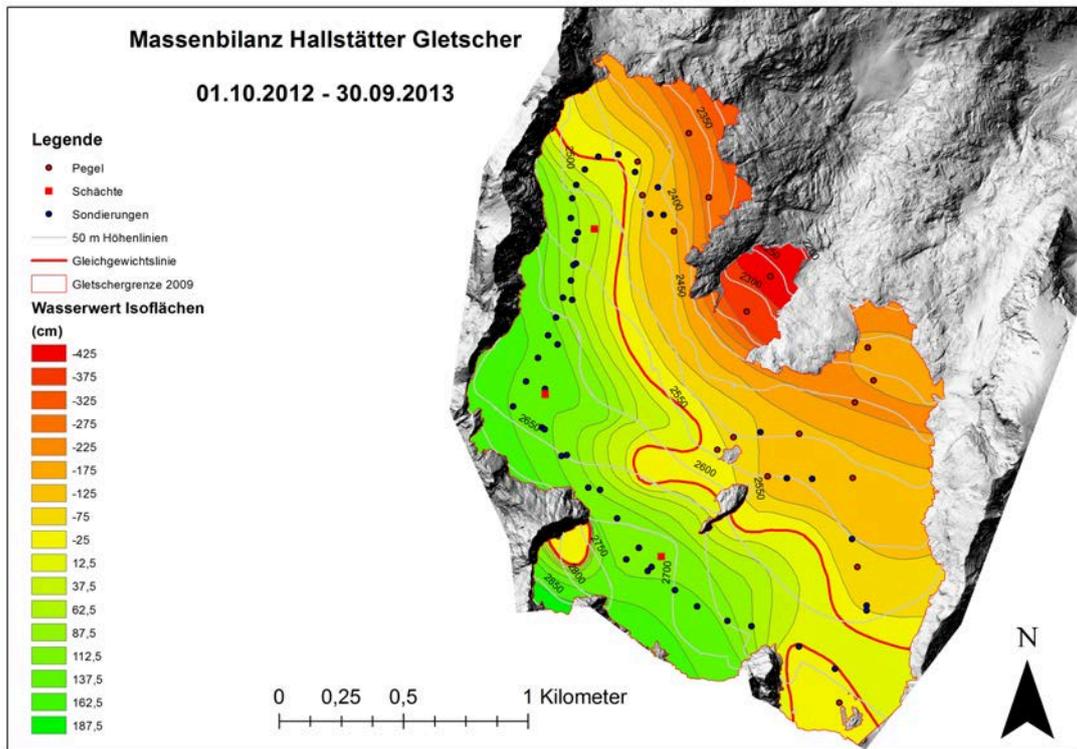


Abbildung 4.4: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz 2012/13.

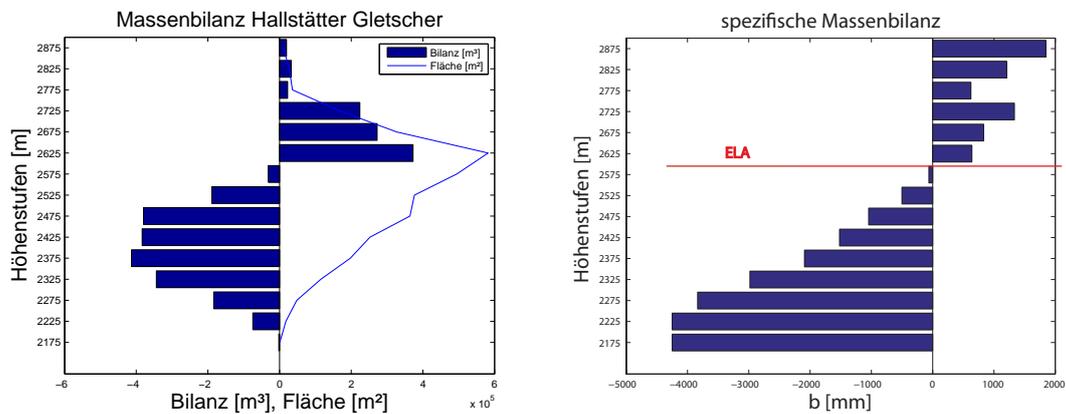


Abbildung 4.5: Nettobilanz (B) und Flächenverteilung nach Digitalem Geländemodell 2007 mit Gletschergrenze 2009 sowie die mittlere spezifische Bilanz (b) der Höhenstufen und die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA).

4.3.3. 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:

$$B_{so} = -6117,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -2028 \text{ mm}$$

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 4.6 zeigt die Beziehung zwischen Jahres-, Winter- und Sommerbilanz auf. Im Massenhaushaltsjahr 2012/13 wurde die am wenigsten negative Massenbilanz seit Messbeginn ermittelt. Der Vergleich der Ergebnisse mit den vorangegangenen Massenhaushaltsjahren zeigt, dass sich ähnliche Werte der Jahresbilanz auch in ähnlichen Werten der mittleren Höhe der Gleichgewichtslinie *ELA* und dem Akkumulationsflächenverhältnis S_c/S widerspiegeln (Tab. 4.7).

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
S_c	1,392			km^2
B_c	1188,3			10^3 m^3
b_c	854			mm
S_a	1,624			km^2
B_a	-2246,3			10^3 m^3
b_a	-1383			mm
S	3,016	3,016	3,016	km^2
B	-1057,9	5059,4	-6117,3	10^3 m^3
b	-351	1677	-2028	mm
S_c/S	0,461			
ELA	2584			m

Tabelle 4.6: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2012/13.

	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	Einheit
S_c	1,496	1,490	1,029	1,456	0,138	0,958	1,392	km^2
B_c	1682,9	595,7	586,7	802,1	17,2	294,8	1188,3	$10^3 m^3$
b_c	1125	400	570	551	125	308	854	mm
S_a	1,645	1,551	1,986	1,56	2,879	2,058	1,624	km^2
B_a	-2864,6	-2723,7	-3373,5	-2913,1	-6083,7	-3999,6	-2246,3	$10^3 m^3$
b_a	-1741	-1756	-1699	-1867	-2113	-1944	-1383	mm
S	3,141	3,041	3,014	3,016	3,016	3,016	3,016	km^2
B	-1181,7	-2128,1	-2786,8	-2111,0	-6066,5	-3704,7	-1057,9	$10^3 m^3$
b	-376	-700	-924	-700	-2011	-1228	-351	mm
S_c/S	0,476	0,490	0,341	0,483	0,046	0,318	0,461	
ELA	2583	2592	2616	2588	2822	2664	2584	m

Tabelle 4.7: Vergleich der sechs gemessenen Jahresbilanzen des Hallstätter Gletschers.

A. Anhang

A.1. Mitarbeiter

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von K. Reingruber, E. Lemmerer, B. Seiser, S. Gruber, L. Hartl, M. Backmann, P. Trawöger, K. Helfricht, R. Mariacher, M. Mühlhuber, F. Holzmann, J. Kauppinen, A. Fischer, M. Dusch, Thomas L. und M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Das Team wurde regelmäßig durch die Gletscherbahnen Dachstein, Planai&Hochwurzen unterstützt. Die Auswertung und der Bericht stammen von L. Hartl und M. Stocker-Waldhuber.

A.2. Definitionen

S	gesamte Gletscherfläche	B	Gesamtjahresbilanz
b	spezifische Massenbilanz	S_a	Fläche des Ablationsgebietes
B_a	Gesamtbilanz Ablationsgebiet	b_a	spezifische Bilanz Ablationsgebiet
S_c	Fläche des Akkumulationsgebietes	B_c	Gesamtbilanz Akkumulationsgebiet
b_c	spezifische Bilanz Akkumulationsgebiet	w_i	als Index bedeutet Winter
so	als Index bedeutet Sommer	ELA	Höhe der Gleichgewichtslinie
S_c/S	Verhältnis Akkumulations- Gesamtfläche	WW	Wasserwert

Tabelle A.8: Notationen die in dieser Arbeit verwendet werden.

$$S = S_c + S_a \quad (\text{A.1}) \qquad B = B_c + B_a \quad (\text{A.2})$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

$$b = b_{wi} + b_{so} \quad (\text{A.3}) \qquad b_{so} = b - b_{wi} \quad (\text{A.4})$$

$$b_{wi} = B_{wi}/S \quad (\text{A.5}) \qquad b_{so} = B_{so}/S \quad (\text{A.6})$$

$$b_c = B_c/S_c \quad (\text{A.7}) \qquad b_a = B_a/S_a \quad (\text{A.8})$$

Tabelle A.9: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

A.3. Fotos



Abbildung A.6: Ausaperung Anfang Juli noch wenig fortgeschritten. Foto vom 6. Juli 2013

www.simonyhuetten.at



Abbildung A.7: Voranschreitende Ausaperung im August. Foto vom 12. August 2013

www.simonyhuette.at



Abbildung A.8: Schneefall am 20. August bremst die Ausaperung. Foto vom 21. August 2013

www.simonyhuetten.at



Abbildung A.9: Maximale Ausaperung am 8. September 2013

www.simonyhuetten.at



Abbildung A.10: Herbstbegehung bei frischer Schneebedeckung, Foto vom 2. Oktober 2013.

Literatur

- Fischer, A., K. Helfricht, und K. Reingruber, 2009: Gletscher, Klima und nachhaltige Entwicklung am Beispiel des Hallstätter Gletschers. *Landschaften und nachhaltige Entwicklung*, **2**, 1–16.
- Helfricht, K., 2009: Veränderungen des Massenhaushaltes am Hallstätter Gletscher seit 1856. Master's thesis, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.
- Hoinkes, H., 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **6**, 37–90.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, und H. Miller (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 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.
- Paterson, W., 1994: *The Physics of Glaciers*. (3rd ed.). Pergamon Press.