

HALLSTÄTTER GLETSCHER

MASSENHAUSHALT UND KLIMA 2013/2014



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

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

10.12.2014



im Auftrag von:

Energie AG Oberösterreich	Land Oberösterreich
Böhmerwaldstrasse 3	Umwelt, Energie, Wasser und KonsumentInnenenschutz
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	<code>martin.stocker-waldhuber@uibk.ac.at</code> Tel.: +43(0)512 507 49457 Fax.: +43(0)512 507 4960
Mag. Klaus Reingruber	<code>office@blueskywetter.at</code> Tel.: +43(0)7674 20660 Fax.: +43(0)7674 2066
Dr. Andrea Fischer	<code>andrea.fischer@uibk.ac.at</code> Tel.: +43(0)512 507 49451 Fax.: +43(0)512 507 4960
Mag. Lea Hartl	<code>lea.hart@student.uibk.ac.at</code>

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, Traummüller und Reingruber OEG, Technisches Büro für Meteorologie
Steinhüblstrasse 1, A-4800 Attnang-Puchheim, Österreich, office@blueskywetter.at

<http://www.blueskywetter.com>

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.

2007 zeigte eine leicht negative Bilanz mit einem mittleren Eisdickenverlust von 42 cm. Die Massenbilanz 2008 ergab 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 m³ Wasser entspricht. Das Jahr 2010/11 war mit –201 cm das negativste seit Beginn der Messungen. Der mittlere Höhenverlust im Jahr 2011/12 betrug 123 cm was einem Gesamtverlust von ca. 3,7 Millionen m³ Wasser entspricht. Das Haushaltsjahr 2012/13 war mit einem Höhenverlust von 35 cm Wasseräquivalent das Jahr mit den bis dato geringsten Verlusten seit Messbeginn, wobei die ergiebigen Schneefälle im Mai und Juni für die Bilanz ausschlaggebend waren. In der Saison 2013/14 waren die Verluste trotz eher geringer Winterschneefälle mit etwa 27 cm Wasseräquivalent noch einmal geringer als im Vorjahr. Ausschlaggebend waren ergiebige Niederschläge in den Sommermonaten.

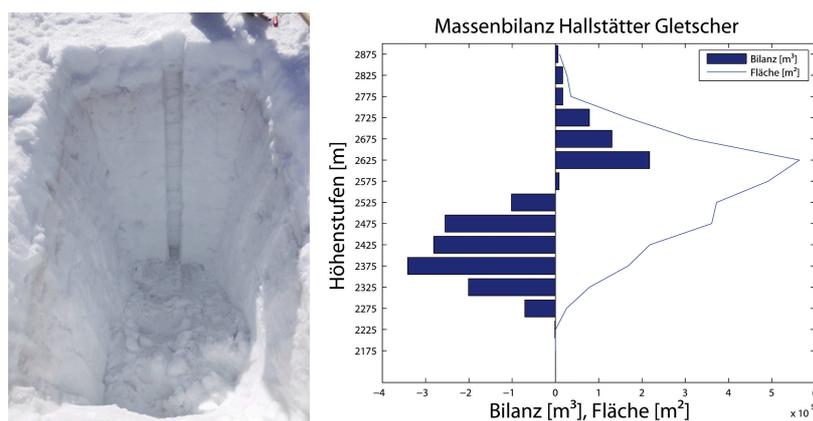


Abbildung 0.1: Der Schneeschacht 3 am 06.10.2014 (links); Massenbilanz und Verteilung der Fläche des Hallstätter Gletschers nach Höhenstufen 2013/14 (rechts).

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
4.2.5. Sonstiges	10
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.

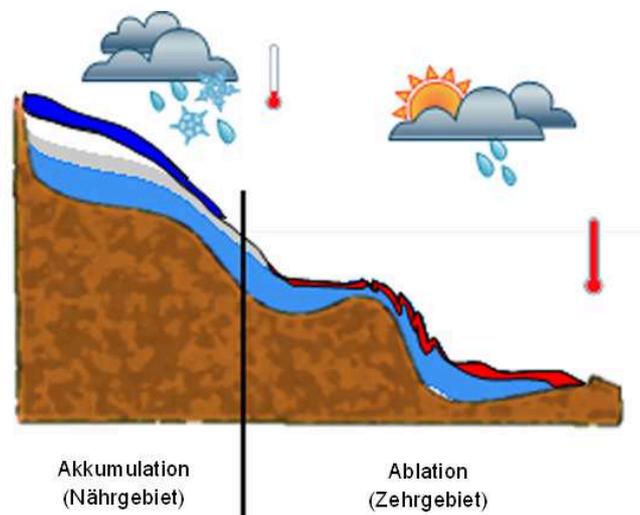


Abbildung 1.1: Schematischer Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers. Farblich dargestellt sind die Eismasse des Gletschers (hellblau), im Bereich der Akkumulation Schnee (dunkelblau) und Firn (weiß/grau) sowie der Massenverlust (rot) im Ablationsgebiet. Die Thermometer geben die relativen 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 2013/14 dargelegt.

2. Das Untersuchungsgebiet

Der Hallstätter Gletscher ist mit knapp 3 km² der größte Gletscher der nördlichen Kalkalpen (Lambrecht und Kuhn, 2007). Im Jahre 2014 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 2,835 km² (Gletschergrenze 2014) verlor der Gletscher rund 46% seiner Ausdehnung gegenüber dem Gletscherhochstand 1856 (Helfricht, 2009).

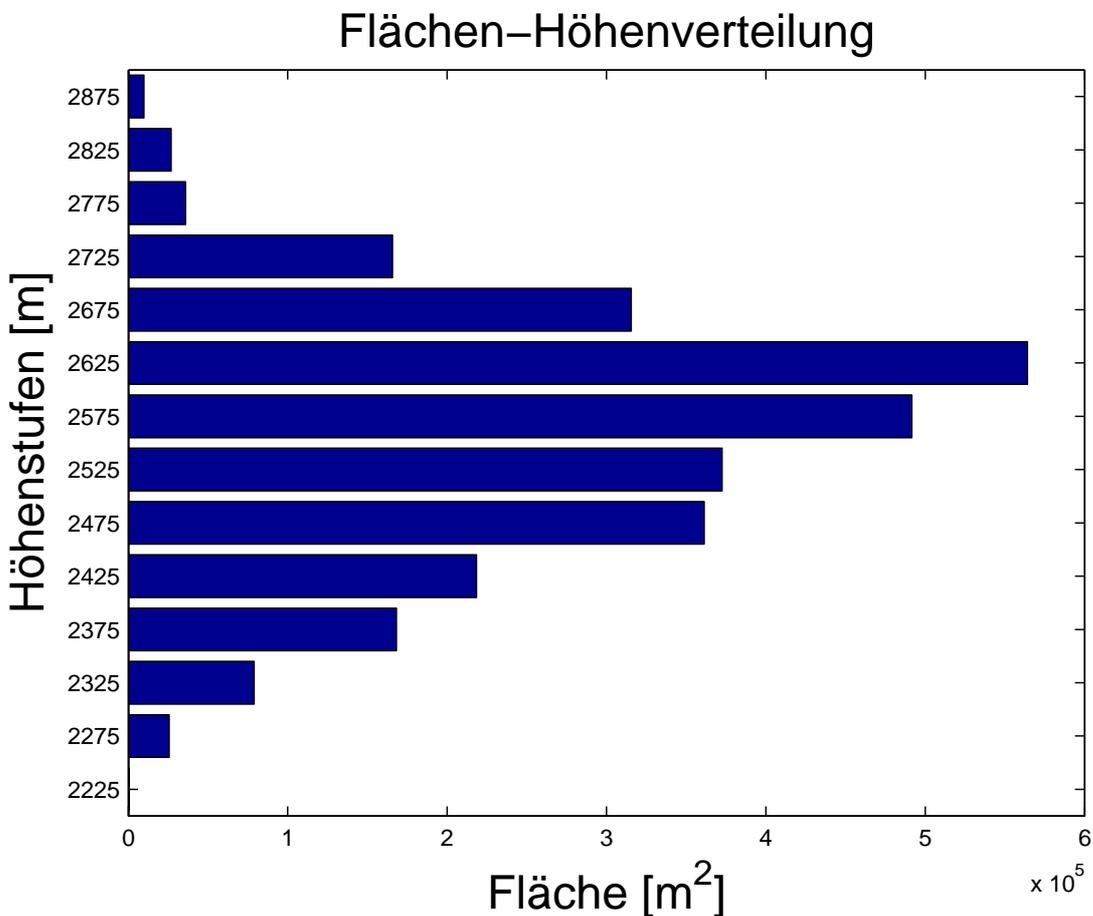


Abbildung 2.1: Flächen-Höhenverteilung des Hallstätter Gletschers 2014.

Hallstätter Gletscher 2014		
Fläche	2,835	km ²
Höchster Punkt	2900	m
Tiefster Punkt	2255	m
Exposition	NO	

Tabelle 2.1: Topographie Hallstätter Gletscher (Stand 2014).

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 1.10.2013 bis zum 30.09.2014 startete mit durchschnittlichen Niederschlagswerten im Oktober. Der November war geringfügig feuchter als im langjährigen Mittel. Im Dezember war es jedoch deutlich trockener als im Durchschnitt. Es folgten ein durchschnittlicher bis minimal zu trockener Januar und Februar. Der Dachstein lag während dieser Zeit zwischen den extremen positiv- bzw. negativ Abweichungen im Süden und Norden des Landes. Der März verlief etwas trockener als im Mittel, der April war hingegen etwas feuchter. Im Mai gab es überdurchschnittlich viel Niederschlag. Bei der Frühjahrsbegehung am 20. und 21. Mai wurde an den Schächten über 1 Meter Neuschnee gemessen. Die Winterschneedecke (bis 30.4., ohne Neuschnee) hatte eine Mächtigkeit von ca. 3 bis 4 Metern. (Abb. 3.2).

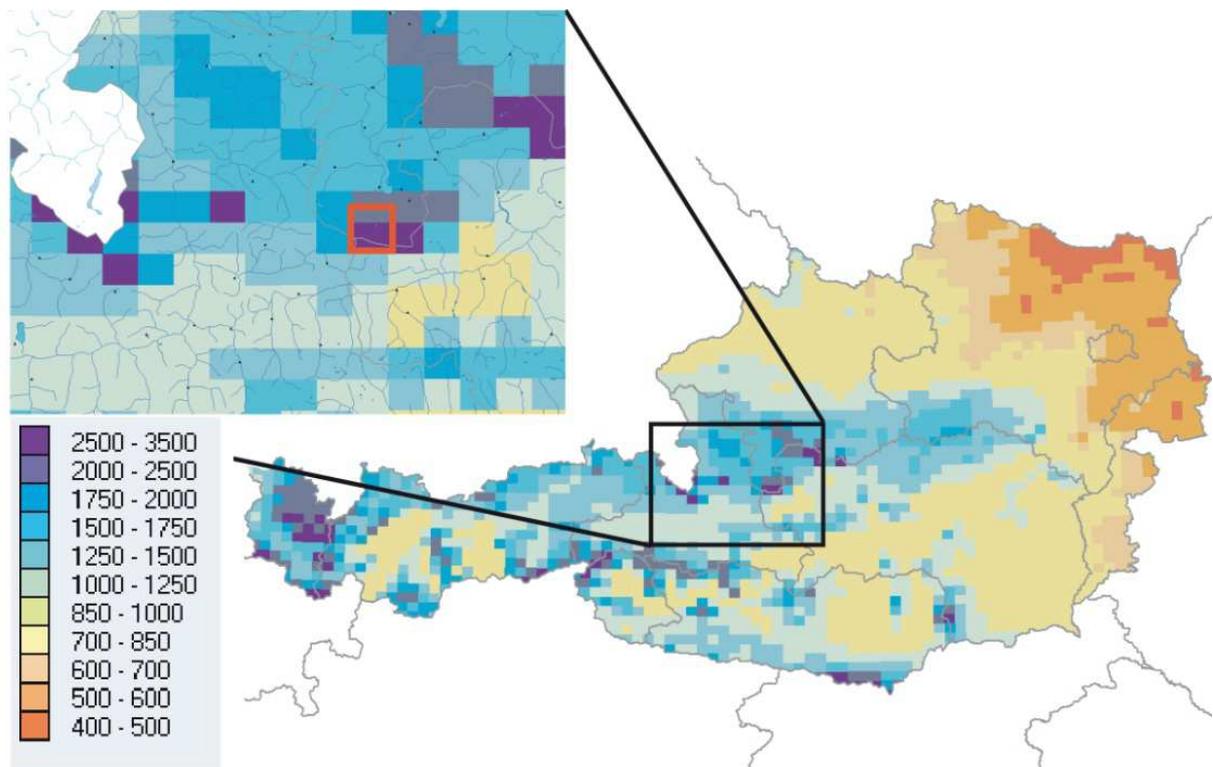


Abbildung 3.1: Mittlere Jahresniederschlagsmenge in mm (Hydrologischer Atlas 2003). Im Ausschnitt rot markiert die Lage des Hallstätter Gletschers.

Auf einen deutlich zu warmen April folgte ein kühler Mai. Juni und Juli verliefen relativ durchschnittlich. Der August war ungewöhnlich kalt und niederschlagsreich, so dass die Ablation deutlich gebremst wurde. Auch im etwas zu warmen September gab es immer wieder Sommerschneefälle.

Für die Jahresbilanz 2014 ausschlaggebend waren die ergiebigen Sommerschneefälle, sowie der Schnee im Mai, durch den die Ablation trotz einen eher schneearmen Winter spät einsetzte.

W

Das Hydrologische Jahr vom 1.10.2013 bis zum 30.09.2014 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).

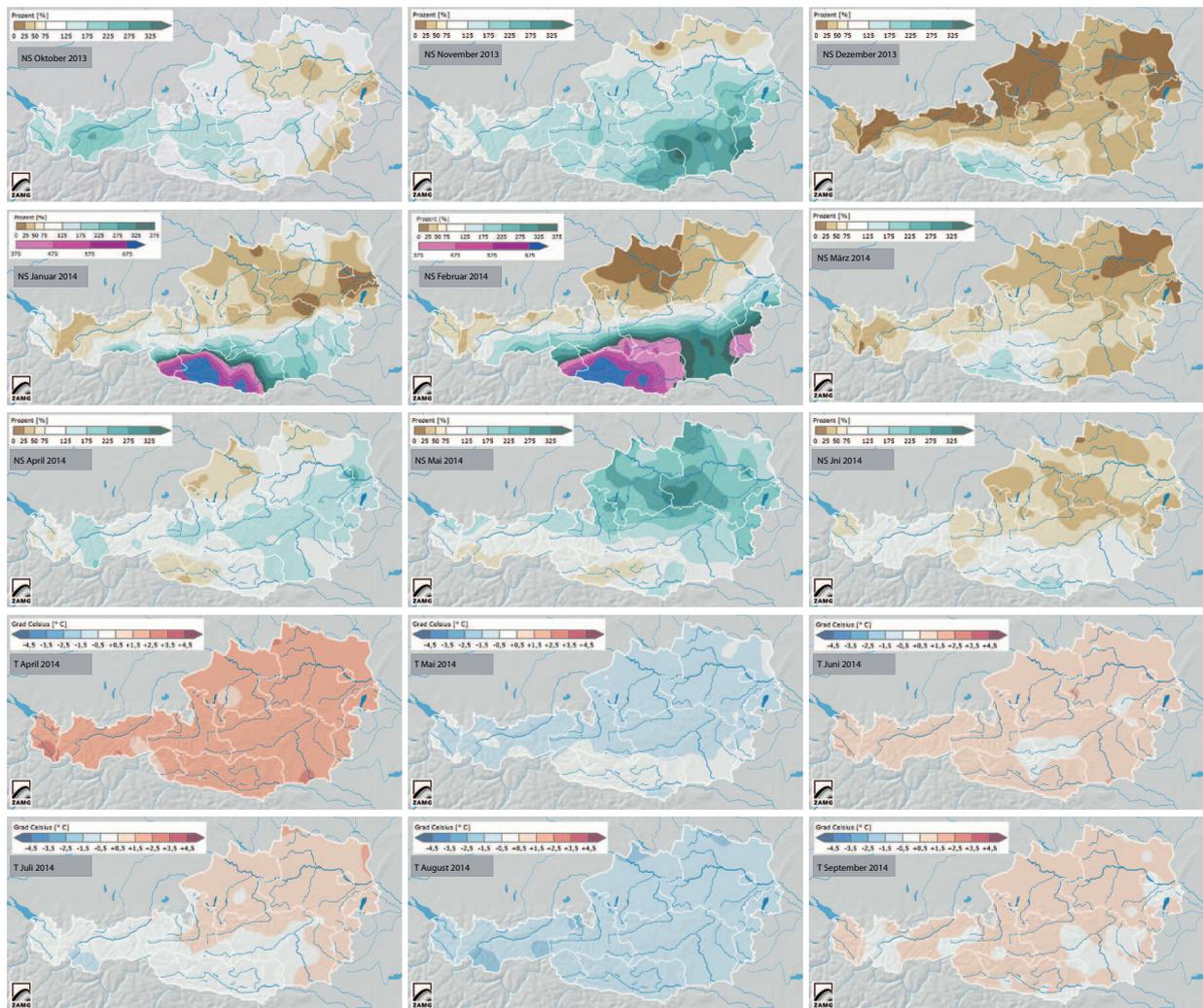


Abbildung 3.2: Übersicht der Abweichungen vom langjährigen Mittel des Niederschlags (NS) und der Temperatur (T) (Mittel bezogen auf die Periode 1981 bis 2010). Die Abbildungen werden von der ZAMG unter www.zamg.ac.at zur Verfügung gestellt.

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 Schmelzsaison 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. 2010, 2011, 2012, 2013 und 2014 wurden erneut mehrere Pegel neu gebohrt und regelmäßig abgelesen. Der Pegel DP21 auf der mittleren Zunge wurde aufgrund seiner Nähe zur Gletschergrenze nach oben versetzt und am 25.09.2013 gänzlich entfernt. DP21 wurde am 28.7.2014 neu gebohrt, war aber am 18.9.2014 nicht mehr auffindbar. Der Gletscher hat in diesem Bereich große Löcher und verändert sich schnell. Es wird vermutet, dass der Pegel in eine Spalte gefallen ist. Am 28. und 29. 7. 2014 wurden außerdem folgende Pegel neu gebohrt: DP34, DP37, DP29, DP22, DP25, DP24, DP20. Die Ablesungen der Pegel fanden am 03.10.2013, 28.07.2014, 18.08.2014, 18.09.2014 sowie zur Herbstbegehung am 06.10.2014 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 2014 fand am 20. und 21. Mai statt. Als Ausgangspunkt diente die Dachsteinbahn am Hunerkogel, übernachtet wurde im Tal. Im Rahmen der Begehung wurden 3 Schächte gegraben (Abb. 4.1), sowie über die Gletscherzungen sondiert. Seit dem 1. Mai gefallener Neuschnee wurde von der Bilanz abgezogen. Zusätzlich wurde der Totalisator am Eissee abgelesen.

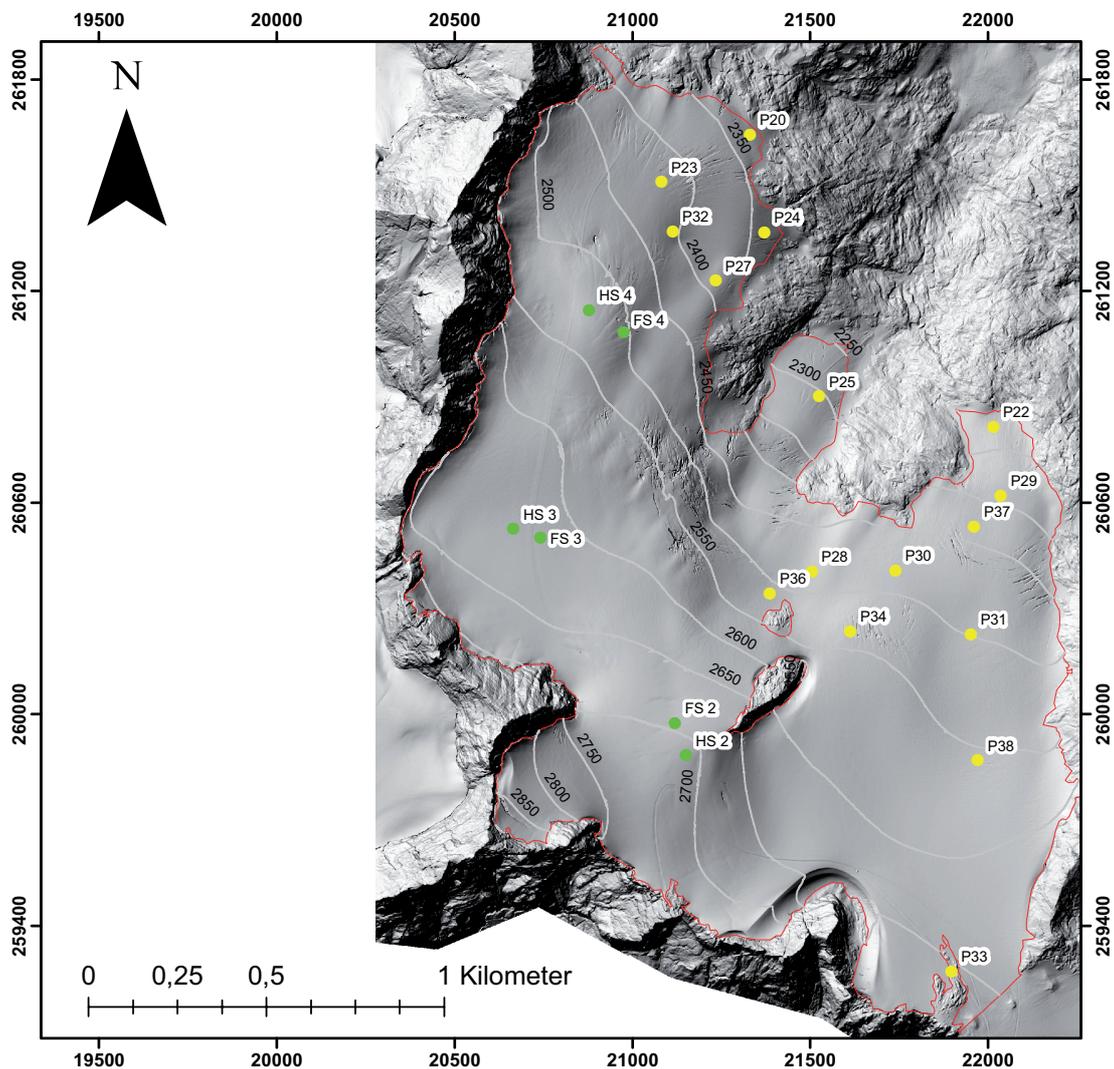


Abbildung 4.1: Positionen der Pegel (DP) und Schächte (HS - Herbstschächte, FS - Frühjahrschächte) 2013/14 mit 50 m Höhenschichtlinien und Gletschergrenze 2014 (rot). Kartengrundlage beleuchtetes Höhenmodell aus Laserscandaten (2012) in Gauß Krüger Koordinaten A31.

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. Zusätzlich 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 6. und 7. Oktober 2014 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.

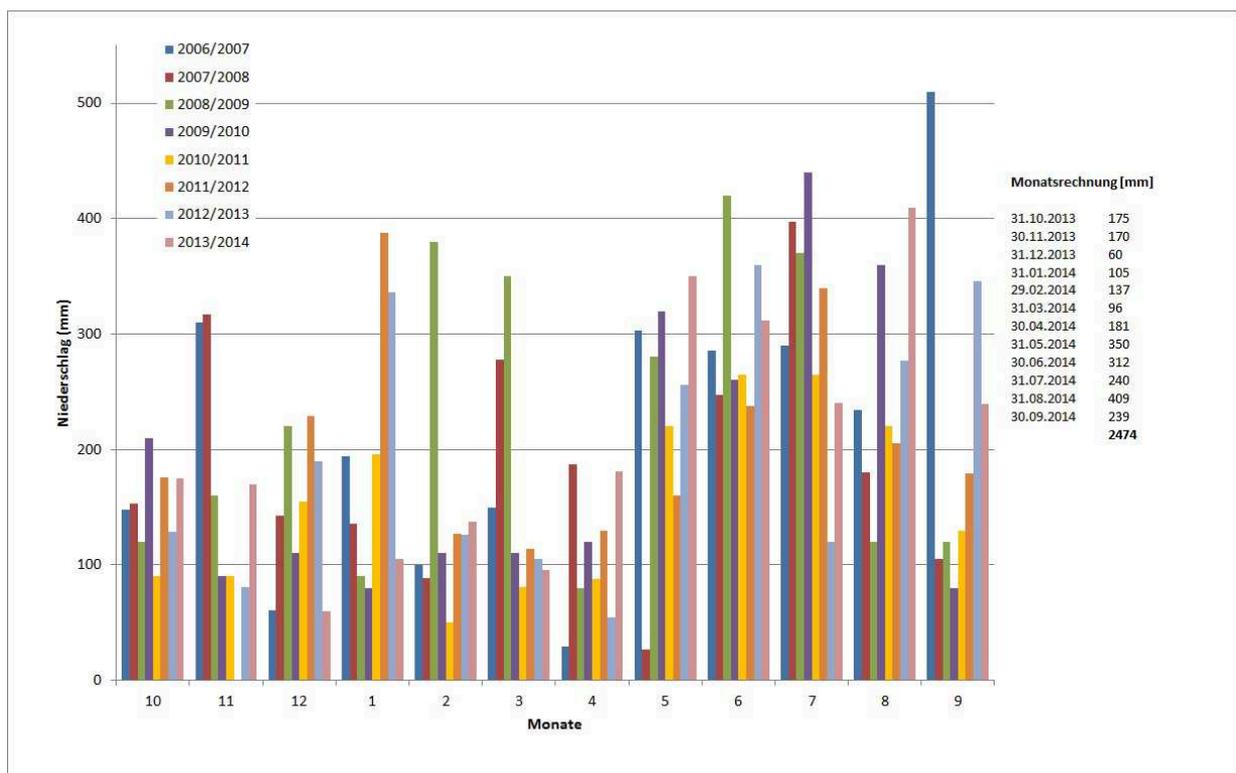


Abbildung 4.2: Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen der Haushaltsjahre 2006/07 bis 2013/14 sowie die Messwerte des Totalisators 2013/14 in mm.

Mit einem Jahresniederschlag von 2474 mm lag das Haushaltsjahr 2013/14 etwa im Durch-

schnitt 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* und 2012/2013 mit 2381 *mm* wieder ähnlich feucht war wie das vergangene Haushaltsjahr. Der Winter verlief vergleichsweise trocken. Für den Zeitraum der Winterbilanz summierten sich nur 755 *mm* Niederschlag. Die niederschlagsreichsten Monate des hydrologischen Jahres 2013/14 waren Mai, Juni und August 2013 mit jeweils über 300 *mm*-, bzw. im August sogar über 400 *mm* Monatsniederschlag.

4.2.5. Sonstiges

Zusätzlich wurde am 18.9.2014 der Gletscherrand mittels differentielltem GPS eingemessen. Die so erhobenen Daten wurden benutzt, um aktualisierte Gletschergrenzen zu erstellen. Die Gesamtfläche beträgt 2,835 *km*². 2009 betrug sie 3,016 *km*². Am 26. 6. wurde am Gjaidstein eine automatische Kamera installiert, die täglich drei Bilder aufnimmt. Die Kamera wurde bei den Begehungen gewartet und ausgelesen.

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 Schneeschächten 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 01.10.2013 bis 30.04.2014. Die Winterbilanz B_{wi} wird durch Integration über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Die mittlere spezifischen Winterbilanz b_{wi} erhält man durch Division von B_{wi} durch die Gesamtfläche.

$$B_{wi} = 3613,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$
$$b_{wi} = 1275 \text{ mm}$$

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
2	4,30	445	996
3	5,24	432	1589
4	4,75	411	1674

Tabelle 4.1: Frühjahrsschächte 2014.

Höhenstufe [m]	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
2850 – 2900	0,01	17,6	1798
2800 – 2850	0,027	48,2	1800
2750 – 2800	0,036	64,2	1787
2700 – 2750	0,166	249	1503
2650 – 2700	0,315	463,7	1470
2600 – 2650	0,564	814,7	1444
2550 – 2600	0,492	678,9	1381
2500 – 2550	0,372	469,8	1261
2450 – 2500	0,361	404,1	1119
2400 – 2450	0,252	231,8	918
2350 – 2400	0,218	199	911
2300 – 2350	0,168	125,2	744
2250 – 2300	0,079	58,5	741
2200 – 2250	0,026	20,5	800
2150 – 2200	0	0,4	800
Gesamt	2,835	3613,8	1275

Tabelle 4.2: Flächen- und Höhenverteilung der Winterbilanz 2013/14.

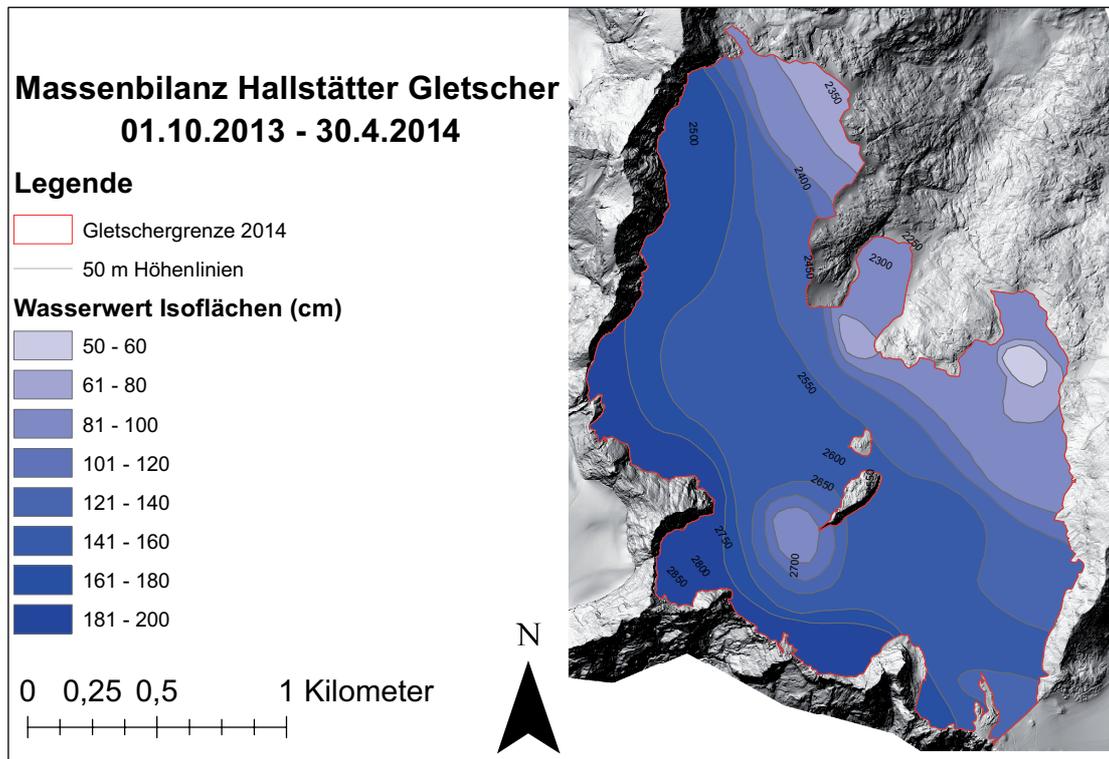


Abbildung 4.3: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz 2012/13.

4.3.2. Jahresbilanz

Für die Massenbilanz des hydrologischen Jahres vom 01.10. bis 30.09. werden zusätzlich zu den ermittelten Rücklagen an den Schneeschächten 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 .

$$B = -775,7 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -274 \text{ mm}$$

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert[mm]
DP 20	-2214	DP 30	-1044
DP 21	-	DP 31	-927
DP 22	-1593	DP 32	-1566
DP 23	-1124	DP 33	-
DP 24	-2727	DP 34	-1296
DP 25	-2646	DP 36	-90
DP 27	-1359	DP 37	-1701
DP 28	-486	DP 38	-423
DP 29	-1935		

Tabelle 4.3: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2013-30.09.2014).

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
Schacht 2	1,69	542	507
Schacht 3	2,42	547	859
Schacht 4	2,13	557	835

Tabelle 4.4: Herbstschächte 2014.

Höhenstufe [m]	Fläche [km ²]	Bilanz [10 ³ m ³]	Wasserwert [mm]
2850 – 2900	0,01	6,1	628
2800 – 2850	0,027	16,7	625
2750 – 2800	0,036	17	473
2700 – 2750	0,166	78,4	473
2650 – 2700	0,315	130,7	414
2600 – 2650	0,564	217,6	386
2550 – 2600	0,492	8,6	18
2500 – 2550	0,372	-101,4	-272
2450 – 2500	0,361	-254,6	-705
2400 – 2450	0,218	-281,1	-1287
2350 – 2400	0,168	-341,5	-2031
2300 – 2350	0,079	-200,6	-2540
2250 – 2300	0,026	-70,6	-2750
2200 – 2250	0	-1,3	-2750
2150 – 2200	0	0	0
Gesamt	2,834	-776	-274

Tabelle 4.5: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz 2013/14.

Die Ablation an der Gletscherzunge fiel im Vergleich zu den Vorjahren gering aus, jedoch waren auch die Schneemengen im Winter gering. In Summe ergibt sich die am wenigsten negative Massenbilanz seit Messbeginn. Die Gleichgewichtslinie (equilibrium line altitude – ELA) lag mit einer mittleren Höhe von 2551 m geringfügig tiefer als im vergangenen Jahr (Abb. 4.5).

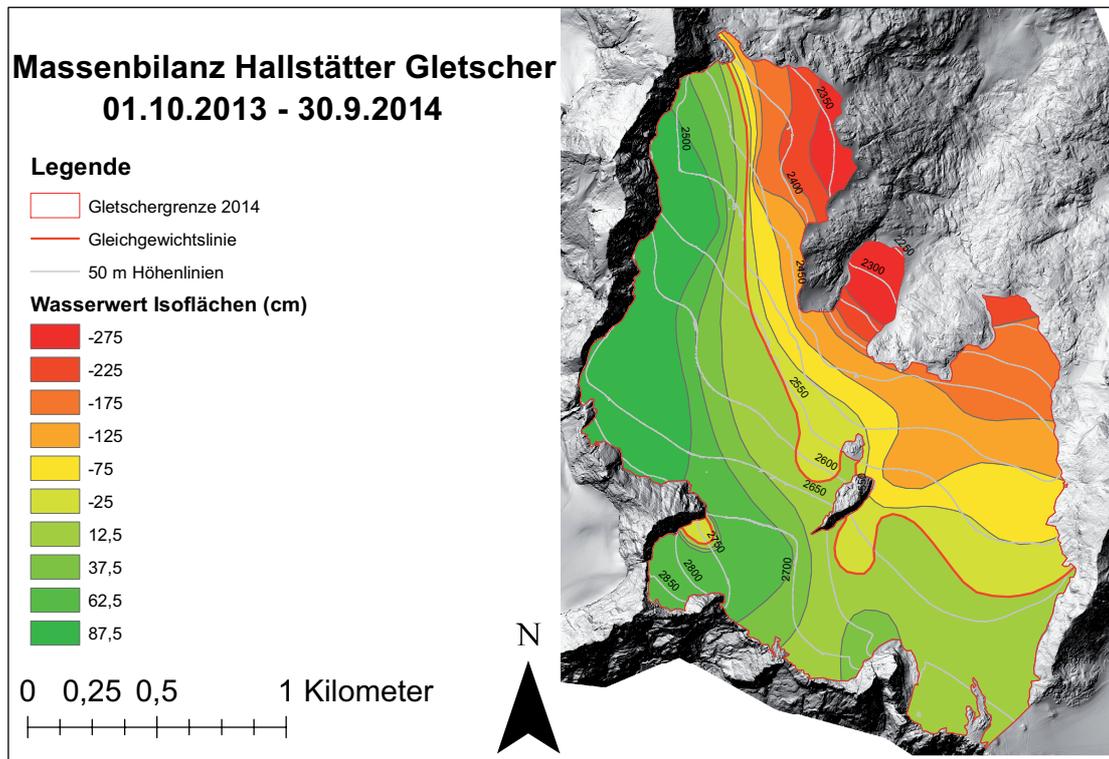


Abbildung 4.4: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz 2013/14.

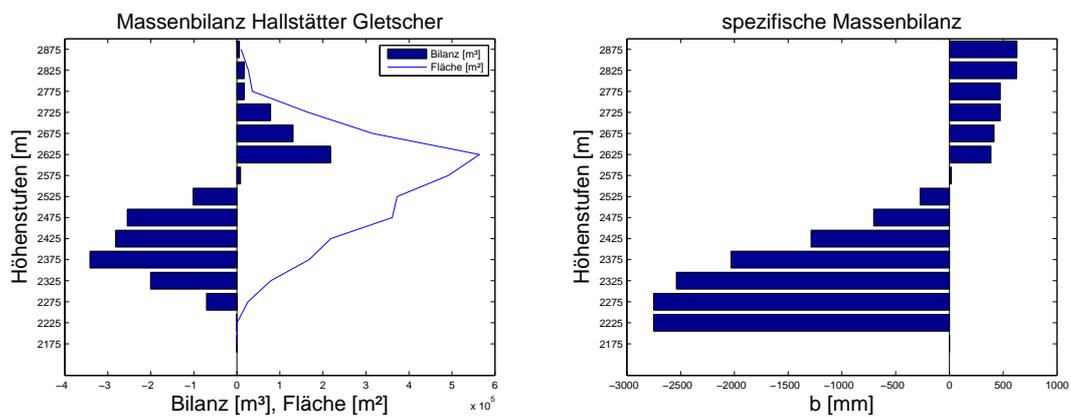


Abbildung 4.5: Nettobilanz (B) und Flächenverteilung nach Digitalem Geländemodell 2012 mit Gletschergrenze 2014 sowie die mittlere spezifische Bilanz (b) der Höhenstufen und die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA).

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:

$$B_{so} = -4672,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -1649 \text{ mm}$$

4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 4.6 zeigt die Beziehung zwischen Jahres-, Winter- und Sommerbilanz auf. Im Massenhaushaltsjahr 2013/14 wurde die am wenigsten negative Massenbilanz seit Messbeginn ermittelt. Die Winterbilanz ist weniger positiv als im Vorjahr, dafür ist die Sommerbilanz weniger negativ. 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	1,604			km^2
B_c	691,3			10^3 m^3
b_c	431			mm
S_a	1,231			km^2
B_a	-1467,1			10^3 m^3
b_a	-1192			mm
S	2,835	2,835	2,835	km^2
B	-775,7	3897,2	-4672,9	10^3 m^3
b	-274	1375	-1649	mm
S_c/S	0,566			
ELA	2551			m

Tabelle 4.6: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2013/14.

	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	Einheit
S_c	1,496	1,490	1,029	1,456	0,138	0,958	1,392	1,604	km^2
B_c	1682,9	595,7	586,7	802,1	17,2	294,8	1188,3	691,3	$10^3 m^3$
b_c	1125	400	570	551	125	308	854	431	mm
S_a	1,645	1,551	1,986	1,56	2,879	2,058	1,624	1,231	km^2
B_a	-2864,6	-2723,7	-3373,5	-2913,1	-6083,7	-3999,6	-2246,3	-1467,1	$10^3 m^3$
b_a	-1741	-1756	-1699	-1867	-2113	-1944	-1383	-1192	mm
S	3,141	3,041	3,014	3,016	3,016	3,016	3,016	2,835	km^2
B	-1181,7	-2128,1	-2786,8	-2111,0	-6066,5	-3704,7	-1057,9	-775,7	$10^3 m^3$
b	-376	-700	-924	-700	-2011	-1228	-351	-274	mm
S_c/S	0,476	0,490	0,341	0,483	0,046	0,318	0,461	0,566	
ELA	2583	2592	2616	2588	2822	2664	2584	2551	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, L. Hartl, M. Backmann, K. Helfricht 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	wi	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 war Anfang Juli noch wenig fortgeschritten. Foto vom 6. Juli 2014



Abbildung A.7: Voranschreitende Ausaperung im August. Foto vom 19. August 2014



Abbildung A.8: Schneefall bremst die Ausaperung. Foto vom 25. August 2014



Abbildung A.9: Maximale Ausaperung am 9. September 2014



Abbildung A.10: Frische Schneebedeckung kurz vor der Herbstbegehung, Foto vom 30. September 2014.

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.