

# HALLSTÄTTER GLETSCHER

## MASSENHAUSHALT UND KLIMA 2010/2011



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

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

16.12.2011





im Auftrag von:

Energie AG Oberösterreich

Böhmerwaldstrasse 3

Postfach 298

A-4021 Linz, Austria

[service@energieag.at](mailto:service@energieag.at)

Tel.: +4305/9000 – 0

Fax.: +430800/818001

Land Oberösterreich

Umwelt, Energie, Wasser und KonsumentInnenschutz

Promenade 37

A-4021 Linz, Austria

[LR.Anschober@ooe.gv.at](mailto:LR.Anschober@ooe.gv.at)

Tel.: +43(0)732/7720 – 12081

Fax.: +43(0)732/7720 – 12099

### Durchführung der Arbeit

Mag. Martin Stocker-Waldhuber

Dr. Andrea Fischer

Institut für Meteorologie und Geophysik

Universität Innsbruck

Innrain 52

A-6020 Innsbruck/Austria

[martin.stocker-waldhuber@uibk.ac.at](mailto:martin.stocker-waldhuber@uibk.ac.at)

[andrea.fischer@uibk.ac.at](mailto:andrea.fischer@uibk.ac.at)

[www.imgi.uibk.ac.at](http://www.imgi.uibk.ac.at)

Tel.: +43(0)5125075492

Fax.: +43(0)5125072924

Mag. Klaus Reingruber

[www.dachsteingletscher.info](http://www.dachsteingletscher.info)

BLUESKY Wetteranalysen

Traunmüller und Reingruber OEG

Technisches Büro für Meteorologie

Steinhüblstrasse 1

A-4800 Attnang-Puchheim

[office@blueskywetter.at](mailto:office@blueskywetter.at)

[www.blueskywetter.com](http://www.blueskywetter.com)

Tel.: +43(0)767420660

Fax.: +43(0)76742066

## 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 Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck 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. Dies entspricht dem Verlust von 2787 Millionen Liter Wasser. 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  $-2011 \text{ mm}$  das Negativste der fünfjährigen Messreihe.

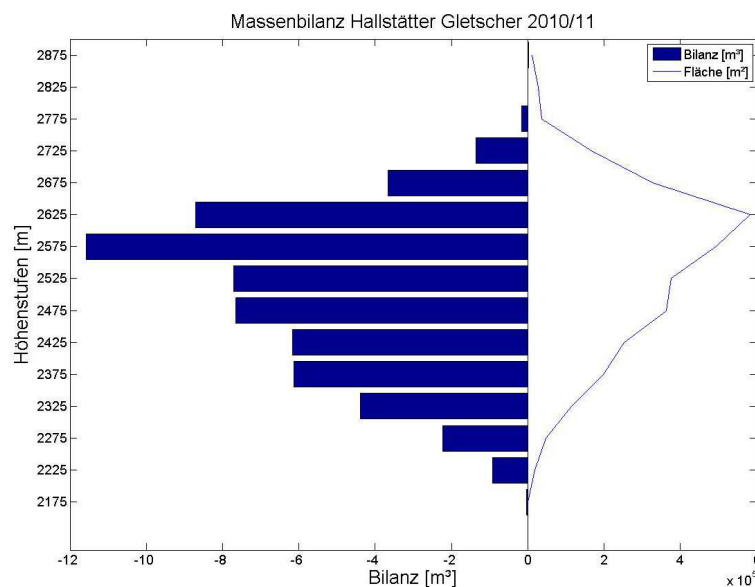


Abbildung 0.1: Der einzige Schneeschacht am 05.10.2011 (links); Massenbilanz und Verteilung der Fläche des Hallstätter Gletschers nach Höhenstufen 2010/11 (rechts).

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>i</b>
<b>Inhalt</b>	<b>1</b>
<b>1. Ziel der Massenbilanzmessungen</b>	<b>2</b>
<b>2. Das Untersuchungsgebiet</b>	<b>3</b>
<b>3. Klima und Witterungsverlauf</b>	<b>4</b>
<b>4. Massenbilanz</b>	<b>7</b>
4.1. Methode . . . . .	7
4.2. Durchgeführte Arbeiten . . . . .	7
4.2.1. Pegelablesungen . . . . .	7
4.2.2. Frühjahrsbegehung . . . . .	7
4.2.3. Herbstbegehung . . . . .	9
4.2.4. Totalisator . . . . .	9
4.3. Auswertung . . . . .	10
4.3.1. Winterbilanz . . . . .	10
4.3.2. Jahresbilanz . . . . .	13
4.3.3. Sommerbilanz . . . . .	17
4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .	17
4.4.1. Vergleich mit anderen Gletschern . . . . .	18
<b>5. Ausblick</b>	<b>19</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>20</b>
A.1. Mitarbeiter . . . . .	20
A.2. Definitionen . . . . .	20

# 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, 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 Massengewinnes, der Akkumulationszone, und der Bereich des Massenverlustes, der Ablationszone. Abbildung 1.1 zeigt einen schematischen Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers.

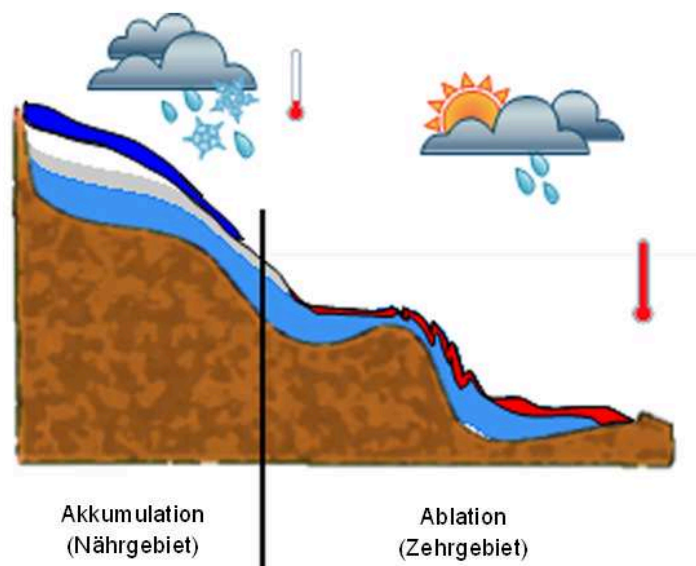


Abbildung 1.1: Schematischer Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers. Farblich dargestellt sind die Eismasse des Gletschers (hellblau), im Bereich der Akkumulation Schnee (dunkelblau) und Firn (weiß/grau) sowie der Massenverlust (rot) im Ablationsgebiet. Die Thermometer geben die relativen 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 2010/11

dargelegt.

## 2. Das Untersuchungsgebiet

Der Hallstätter Gletscher ist mit über 3 km<sup>2</sup> 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 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 2.1 ersichtlich, befindet sich der flächenmäßig größte Teil zwischen 2600 m und 2650 m Höhe. Mit einer Fläche von 3,014 km<sup>2</sup> (Gletschergrenze 2009) verlor der Gletscher rund 43% seiner Ausdehnung gegenüber dem Gletscherhochstand 1856 (Helfricht, 2009).

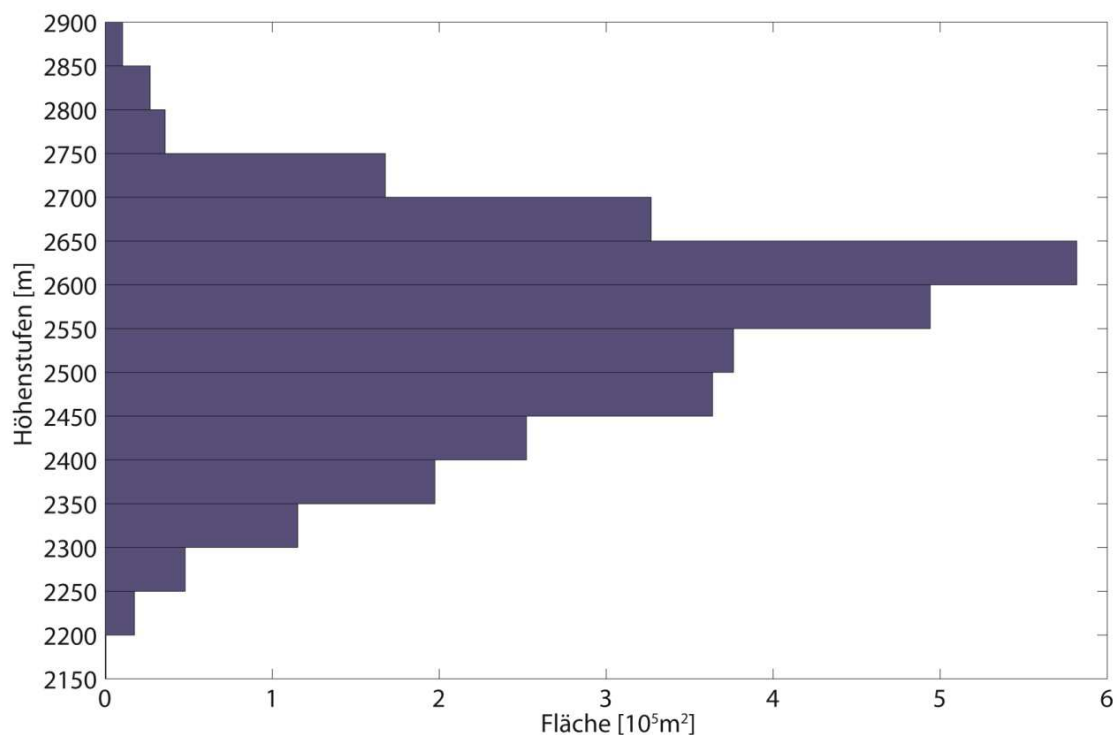


Abbildung 2.1: Flächen-Höhenverteilung des Hallstätter Gletschers 2009.

Hallstätter Gletscher 2009		
Fläche	3,016	<i>km<sup>2</sup></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 1.10.2010 bis zum 30.09.2011 startete mit unterdurchschnittlichen Niederschlagswerten von Oktober bis Dezember (Abb. 3.2). Im Jänner wurden über 125% des Niederschlagsnormalwertes der Periode 1971 bis 2000 aufgezeichnet. In den Folgemonaten Februar bis April fielen die Niederschlagsmengen jedoch wieder zu gering aus.

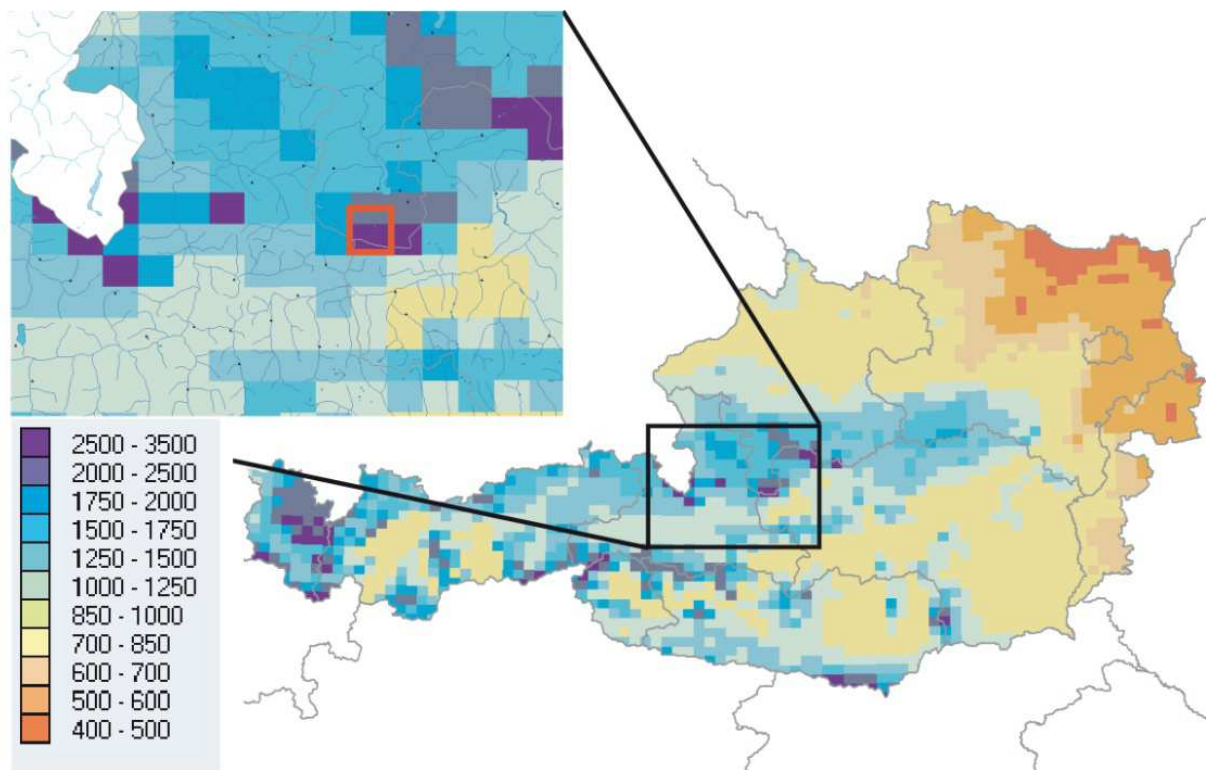


Abbildung 3.1: Mittlere Jahresniederschlagsmenge in mm (Hydrologischer Atlas 2003). Im Ausschnitt rot markiert die Lage des Hallstätter Gletschers.

Die ebenfalls überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Mai waren mit einer positiven Temperaturabweichung verbunden und wirkten sich somit als Regen negativ auf die Gletschermassenbilanz aus. Mit der Ausnahme Juli waren alle Monate von April bis September deutlich zu warm, was sich auf eine stark negative Sommerbilanz auswirkte.

Das Hydrologische Jahr vom 1.10.2010 bis zum 30.09.2011 zeichnete sich im Dachsteingebiet im Allgemeinen durch zu geringe Niederschläge im Winter und zu hohe Temperaturen im Sommer aus (Abb. 3.2).



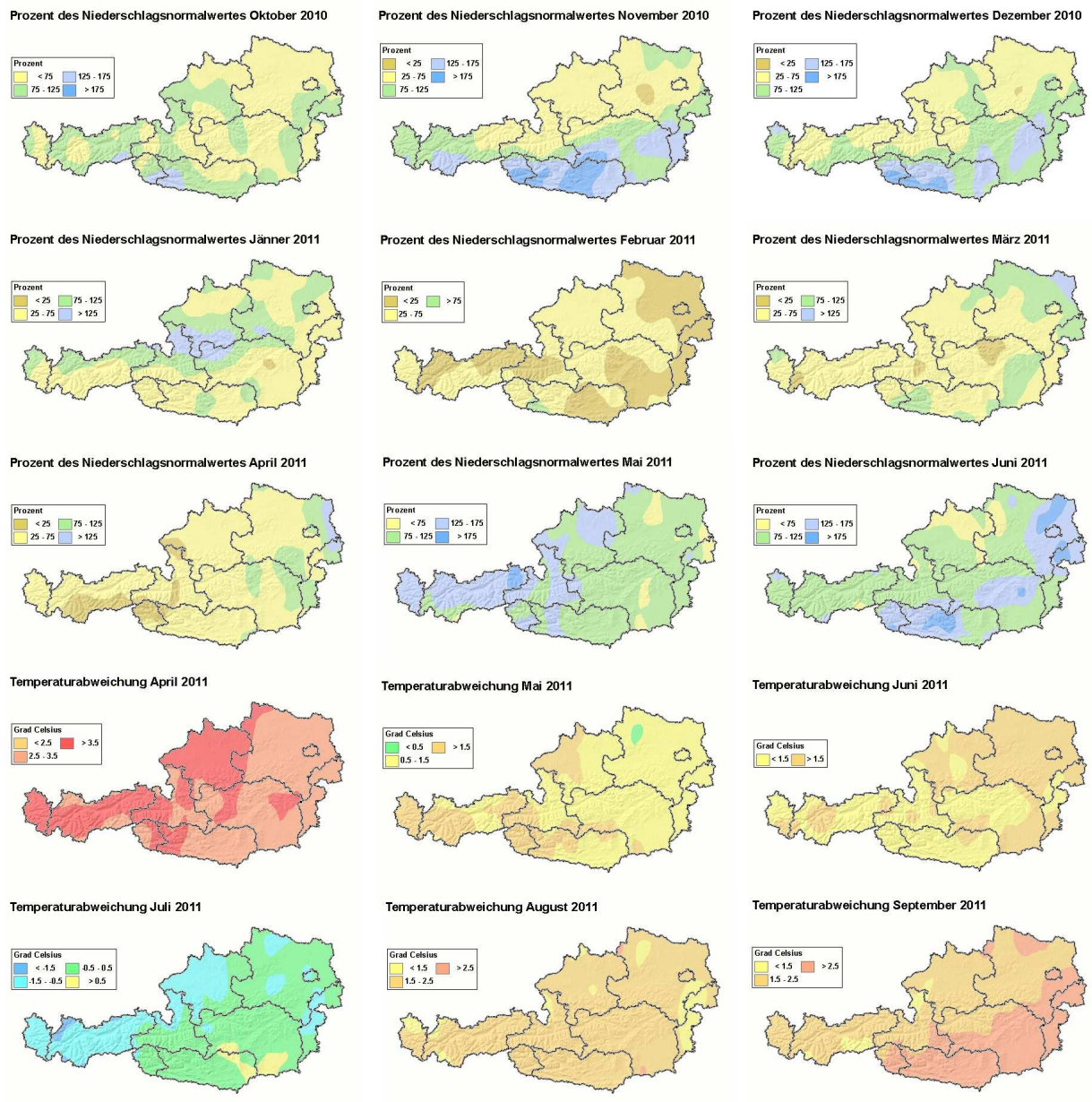


Abbildung 3.2: Übersicht der Abweichungen vom langjährigen Mittel des Niederschlags und der Temperatur (Mittel bezogen auf die Periode 1971 bis 2000). Die Abbildungen werden von der ZAMG unter [www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at) zur Verfügung gestellt.

## **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 vorgenommen (Hoinkes, 1970). 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. 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) wiedergefunden. Der Pegel DP21 auf der mittleren Zunge wurde aufgrund seiner Nähe zur Gletscherzunge nach oben versetzt. 2010 und 2011 wurden erneut mehrere Pegel neu gebohrt und regelmäßig abgelesen. Die Ablesungen der Pegel fanden am 07.07.2011, 10/11.08.2011, 13/14.09.2011 sowie zur Herbstbegehung am 04/05.10.2011 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 2011 fand am 09. und 10. Mai statt. Als Ausgangspunkt diente die Dachsteinbahn am Hunerkogel. Übernachtet wurde auf der Seethaler Hütte (Dachsteinwarte). Im Rahmen der Begehung wurden 4 Schächte gegraben (Abb. 4.1) sowie über die Gletscherzungen sondiert.

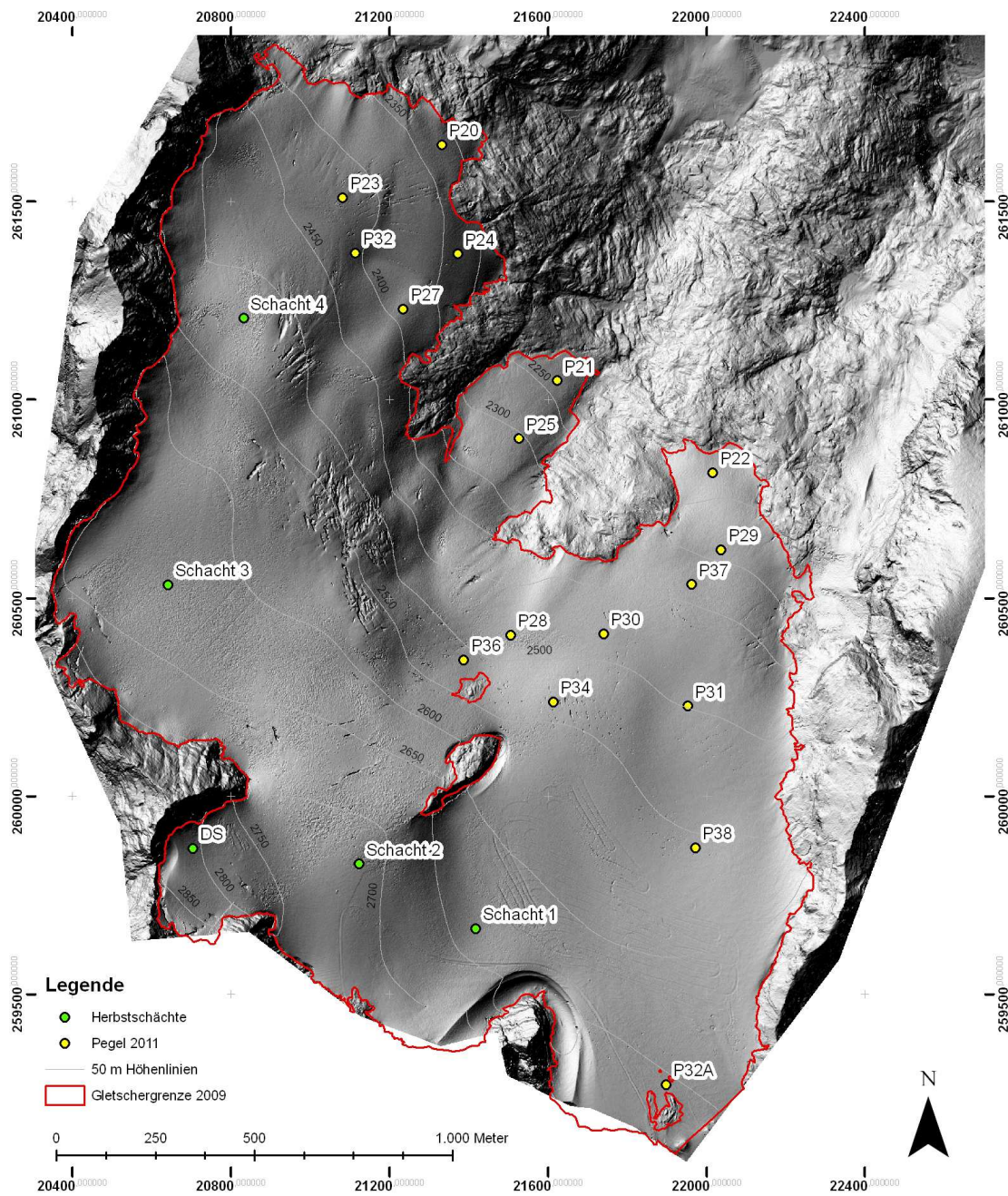


Abbildung 4.1: Positionen der Pegel und Schächte 2010/11 mit 50 m Höhengichtlinien und Gletschergrenze 2009 (rot). Kartengrundlage beleuchtetes Höhenmodell aus Laserscandaten (2007) in Gauß Krüger Koordinaten A31.

### **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. 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 04. und 05. Oktober 2011 statt. Ausgangspunkt war die Dachsteinbahn am Hunerkogel. Übernachtet wurde auf der Seethaler Hütte (Dachsteinwarte). Aufgrund der geringen Winterschneedecke und der starken Ablation im Sommer lag an den üblichen Schachtpositionen zur Herbstbegehung kein Schnee, daher wurde unterhalb des Hohen Dachstein der Schacht DS gegraben (Abb. 4.1).

### **4.2.4. Totalisator**

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Erstellung von Massenbilanzen ist der Totalisator. Er dient zur Erfassung des Gebietsniederschlags. Der Totalisator befindet sich im Bereich der tiefsten Zunge des Hallstätter Gletschers auf einem sandigen Schutthügel. 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.

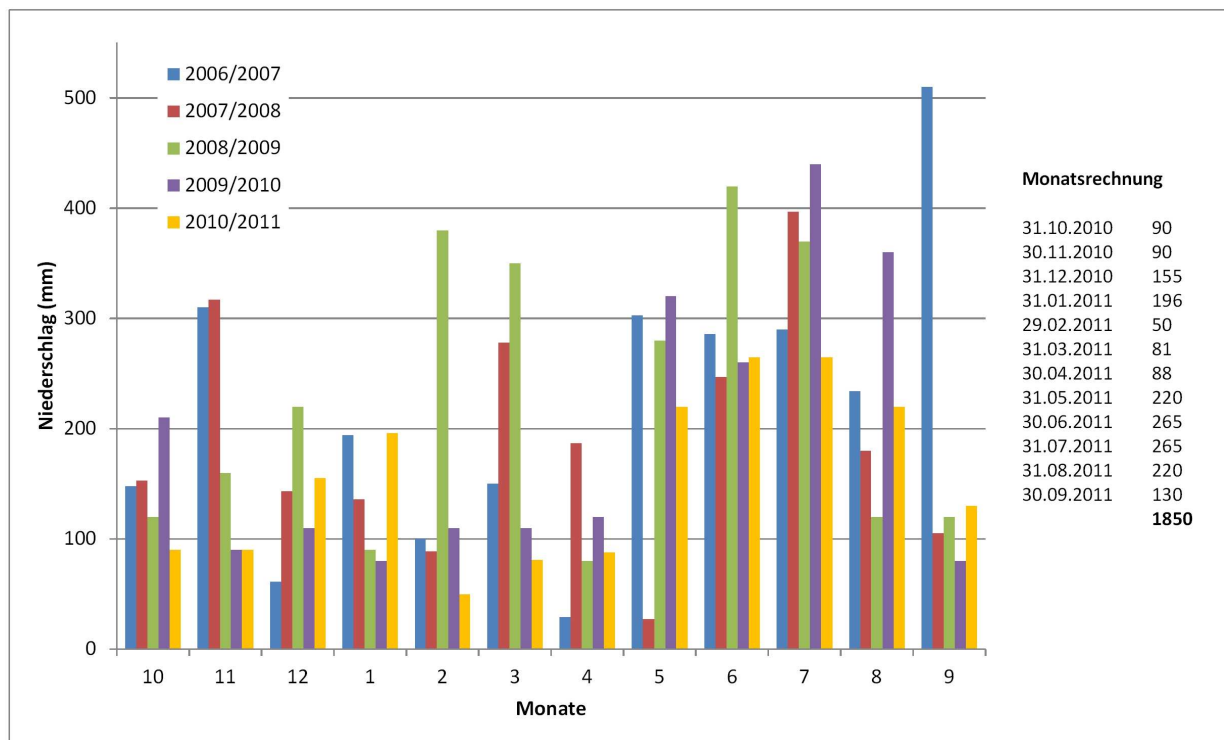


Abbildung 4.2: Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen der Haushaltsjahre 2006/07, 2007/08, 2008/09 und 2009/10, sowie die Messwerte des Totalisators 2010/11 in mm.

Mit einem Jahresniederschlag von 1850 mm lag das Haushaltsjahr 2010/11 deutlich unter den Niederschlagsmengen der Vorjahre mit 2290 mm im Jahr 2009/10, 2006/07 mit 2615 mm, 2007/08 mit 2259 mm, 2008/09 mit 2710 mm und 2290 mm im Jahr 2009/10. Hohe Niederschlagssummen im Winter gab es nur von Dezember bis Jänner. Die Niederschläge im Mai fielen fast ausschließlich flüssig und brachten kaum eine zusätzliche Akkumulation. Für den Zeitraum der Winterbilanz summierten sich 750 mm Niederschlag.

## 4.3. Auswertung

### 4.3.1. Winterbilanz

Die Winterbilanz bezieht sich auf den Zeitraum vom 1.10. eines bis zum 30.4. 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 1.10. 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 01.10.2010 bis 30.04.2011. 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.

$$B_{wi} = 4482 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{wi} = 1486 \text{ mm}$$

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Wasserwert [mm]
1	4,25	472	2007
2	3,67	467	1714
3	4,73	461	2180
4	4,50	466	2099

Tabelle 4.1: Frühjahrsschächte.

Höhenstufe [m]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Bilanz [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Wasserwert [mm]
2150 – 2200	0,000	0,3	700
2200 – 2250	0,018	12,3	700
2250 – 2300	0,048	42,0	876
2300 – 2350	0,115	105,7	916
2350 – 2400	0,198	202,4	1025
2400 – 2450	0,252	302,2	1197
2450 – 2500	0,364	491,9	1352
2500 – 2550	0,376	550,8	1463
2550 – 2600	0,494	718,5	1454
2600 – 2650	0,582	1002,6	1723
2650 – 2700	0,327	583,1	1783
2700 – 2750	0,168	307,8	1834
2750 – 2800	0,036	76,7	2136
2800 – 2850	0,027	62,0	2300
2850 – 2900	0,010	23,9	2300
Gesamt	3,016	4482,1	1486

Tabelle 4.2: Flächen- und Höhenverteilung der Winterbilanz.

### Winterbilanz Hallstätter Gletscher

01.10.2010 - 30.04.2011

erstellt von  
Martin Stocker-Waldhuber  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
Universität Innsbruck  
13.12.2011

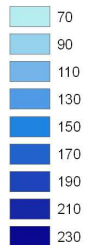
#### Legende

— 50 m Höhenlinien

□ Gletschergrenze 2009

#### Wasserwert Isoflächen

Wasserwert (cm)



0 250 500 1.000 Meter

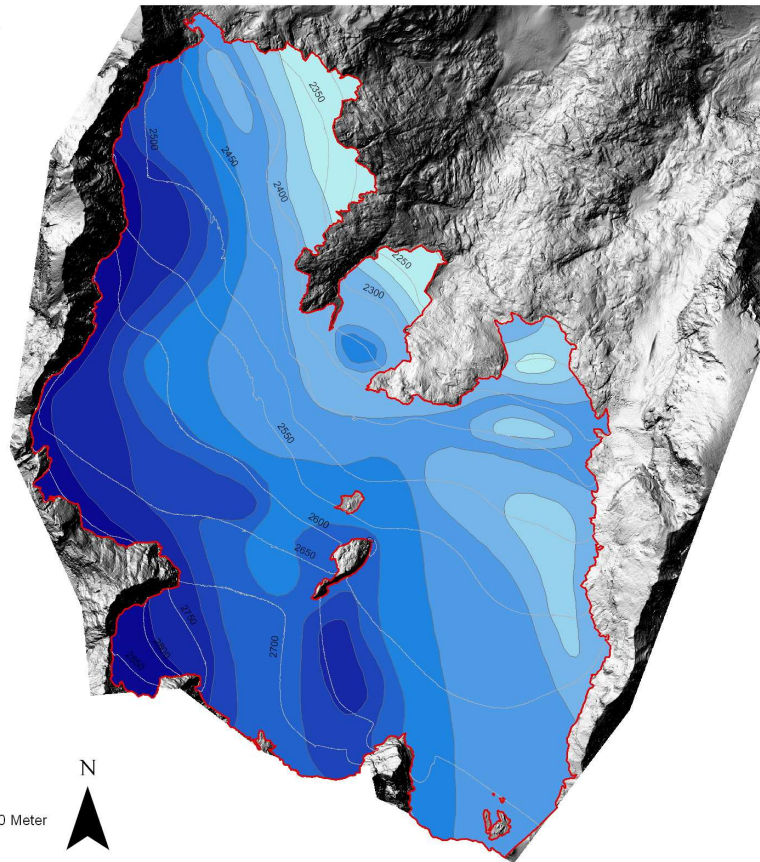


Abbildung 4.3: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz 2010/11.

### 4.3.2. Jahresbilanz

Für die Massenbilanz des hydrologischen Jahres vom 1.10. bis 30.9. 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  $b$ .



$$B = -6066,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -2011 \text{ mm}$$

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert[mm]
DP 20	-3726	DP 30	-4050
DP 21	-5274	DP 31	-2543
DP 22	-3438	DP 32	-3654
DP 23	-3114	DP 32A	-2286
DP 24	-6084	DP 34	-2772
DP 25	-4509	DP 36	-3246
DP 27	-2682	DP 37	-1468
DP 28	-2348	DP 38	-2472
DP 29	-3066		

Tabelle 4.3: Wasserwerte der Pegel.

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [ $kg/m^3$ ]	Wasserwert [mm]
Schacht 1	0	0	0
Schacht 2	0	0	0
Schacht 3	0	0	0
Schacht 4	0	0	0
DS	0,72	573	413

Tabelle 4.4: Herbstschächte.

Höhenstufe [m]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Bilanz [10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ]	Wasserwert [mm]
2150 – 2200	0,000	-2,5	-5250
2200 – 2250	0,018	-92,3	-5250
2250 – 2300	0,048	-223,3	-4659
2300 – 2350	0,115	-438,4	-3801
2350 – 2400	0,198	-612,2	-3100
2400 – 2450	0,252	-616,0	-2441
2450 – 2500	0,364	-765,9	-2105
2500 – 2550	0,376	-771,6	-2050
2550 – 2600	0,494	-1157,5	-2342
2600 – 2650	0,582	-870,9	-1496
2650 – 2700	0,327	-365,7	-1118
2700 – 2750	0,168	-136,0	-810
2750 – 2800	0,036	-16,3	-453
2800 – 2850	0,027	0,8	29
2850 – 2900	0,010	1,3	125
Gesamt	3,016	-6066,5	-2011

Tabelle 4.5: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz 2010/11.

Aufgrund der großen Schmelzwassermengen und damit verbundener größerer Fließgeschwindigkeit zeigte sich der Hallstätter Gletschers im Massenhaushaltsjahr 2011 besonders zerrissen (s. Beispiel Titelbild, knapp unterhalb (nördlich) der Schachtposition 4). Darüber hinaus, war nahezu der gesamte Gletscher schneefrei. Im Bereich der Felsen im Übergang zum Schladminger Gletscher gingen etwa zwei Meter Eis verloren. Ablationsbeträge von über 5 m Wasseräquivalent wurden an der westlichen und mittleren Zunge gemessen. Die Gleichgewichtslinie lag im Vergleich zu den Vorjahren mit einer mittleren Höhe (equilibrium line altitude - ELA) von 2822 m ungewöhnlich hoch (Abb. 4.5).

### Massenbilanz Hallstätter Gletscher

01.10.2010 - 30.09.2011

erstellt von  
Martin Stocker-Waldhuber  
Institut für Meteorologie und Geophysik  
Universität Innsbruck  
13.12.2011

#### Legende

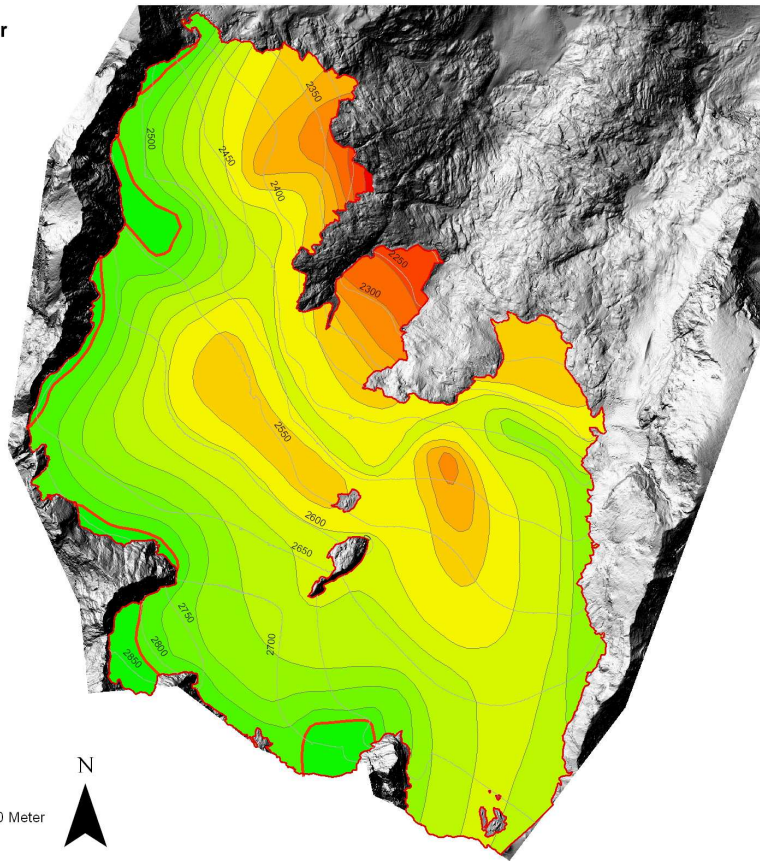
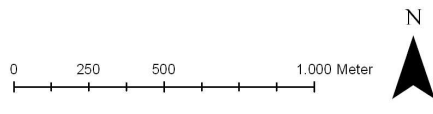
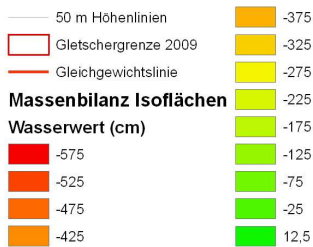


Abbildung 4.4: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz 2010/11.

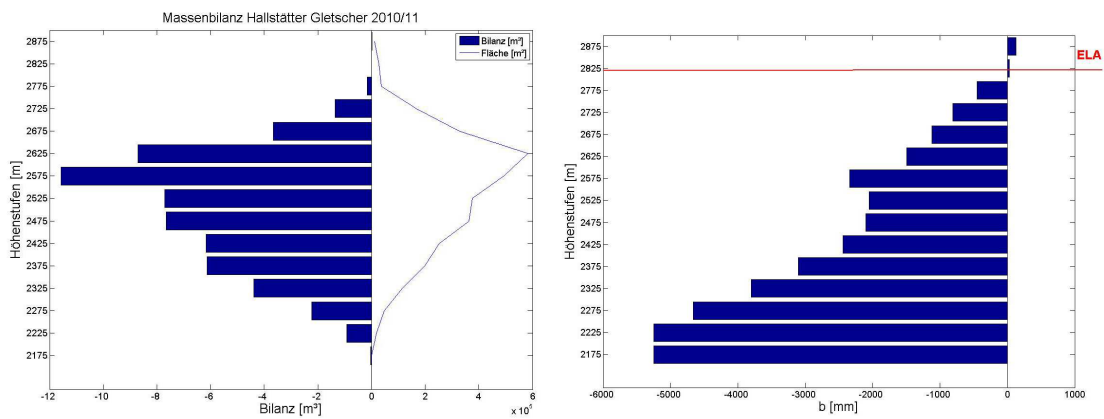


Abbildung 4.5: Nettobilanz (B) und Flächenverteilung nach Digitalem Geländemodell 2007 mit Gletschergrenze 2009 sowie die mittlere spezifische Bilanz (b) der Höhenstufen und die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA).

### 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:

$$B_{so} = -10548,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -3497 \text{ mm}$$

### 4.4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 4.6 zeigt die Beziehung zwischen Jahres-, Winter- und Sommerbilanz auf. Im Massenhaushaltsjahr 2010/11 folgte der seit Beginn der Messungen 2006 geringsten positiven Winterbilanz die am stärksten negative Sommerbilanz wodurch die Jahresbilanz mehr als doppelt so negativ ausfiel wie in den Jahren zuvor. 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. Somit zeigt auch das Jahr 2010/11 mit einer um mehr als 200  $m$  höheren Gleichgewichtslinie ein sehr geringes Akkumulationsflächenverhältnis (Tab. 4.7).

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
$S_c$	0,138			$km^2$
$B_c$	17,2			$10^3 \text{ m}^3$
$b_c$	125			$mm$
$S_a$	2,879			$km^2$
$B_a$	-6083,7			$10^3 \text{ m}^3$
$b_a$	-2113			$mm$
$S$	3,016	3,016	3,016	$km^2$
$B$	-6066,5	4482,1	-10548,6,3	$10^3 \text{ m}^3$
$b$	-2011	1486	-3497	$mm$
$S_c/S$	0,046			
$ELA$	2822			$m$

Tabelle 4.6: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2010/11.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	Einheit
$S_c$	1,496	1,490	1,029	1,456	0,138	$km^2$
$B_c$	1682,9	595,7	586,7	802,1	17,2	$10^3 m^3$
$b_c$	1125	400	570	551	125	$mm$
$S_a$	1,645	1,551	1,986	1,56	2,879	$km^2$
$B_a$	-2864,6	-2723,7	-3373,5	-2913,1	-6083,7	$10^3 m^3$
$b_a$	-1741	-1756	-1699	-1867	-2113	$mm$
$S$	3,141	3,041	3,014	3,016	3,016	$km^2$
$B$	-1181,7	-2128,1	-2786,8	-2111	-6066,5	$10^3 m^3$
$b$	-376	-700	-924	-700	-2011	$mm$
$S_c/S$	0,476	0,49	0,341	0,483	0,046	
$ELA$	2583	2592	2616	2588	2822	$m$

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

#### 4.4.1. Vergleich mit anderen Gletschern

Der Vergleich der Massenbilanzdaten vom Hallstätter Gletscher mit den vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck gemessenen Massenhaushalten der am Alpenhauptkamm gelegenen Gletschern Mullwitzkees (Venedigergruppe), Hintereis- und Kesselwandferner (Ötztal) sowie des in der Silvretta gelegenen Jamtalferners zeigt, dass die mittlere spezifische Bilanz  $b$  des Hallstätter Gletschers des Haushaltsjahres 2010/11 deutlich negativer ausfällt (Tab. 4.8). Der Hallstätter Gletscher kann sich aufgrund seiner Nordstaulage in tieferen Höhenlagen als anderen Gletscher halten, was sich aber, wie im Massenhaushaltsjahr 2011, bei einem Mangel an Neuschnee im Winter und erhöhten Temperaturen im Sommer mit einem markanten Anstieg der Gleichgewichtslinie auf eine stark negative Bilanz auswirkt. Die für den Hallstätter Gletscher typisch niedrigere mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie ELA lag im Vorjahr um ca. 550  $m$  tiefer gegenüber Hintereis- und Kesselwandferner, im Jahr 2010/11 waren es nur ca. 450  $m$ .

	HG	HEF	KWF	JF	MW	Einheit
$S_c$	0,138	1,739	0,9588	0,28	0,431	$km^2$
$B_c$	17,2	419,1	95,9	36,7	106,8	$10^3 m^3$
$b_c$	125	241	100	131	248	$mm$
$S_a$	2,879	5,118	2,7008	2,891	2,501	$km^2$
$B_a$	-6083,7	-10154,5	-2546,6	-4583,9	-3926,3	$10^3 m^3$
$b_a$	-2113	-1984	-943	-1586	-1570	$mm$
$S$	3,016	6,856	3,6597	3,171	2,931	$km^2$
$B$	-6066,5	-9735,3	-2450,7	-4547,1	-3819,5	$10^3 m^3$
$b$	-2011	-1420	-670	-1434	-1303	$mm$
$S_c/S$	0,046	0,254	0,262	0,088	0,147	
$ELA$	2822	3285	3266	> GN	> GN	$m$

Tabelle 4.8: Vergleich der Massenbilanzgrößen des Hallstätter Gletschers (HG) mit Werten von Hintereis-, Kesselwand- und Jamtalferner (HEF, KWF, JF) und Mullwitzkees (MW) für das Haushaltsjahr 2010/11.

## 5. Ausblick

Das fünfte Jahr der Messungen am Hallstätter Gletscher brachte die negativste Massenbilanz seit Beginn der Messungen. Damit sind aufgrund unterschiedlicher Witterung vier verschiedene Massenbilanzgrößen und zwei ähnliche Ergebnisse am Hallstätter Gletscher ermittelt worden. Mit der Fortführung der gleichzeitigen Messungen von Massenhaushalt und Klima sind noch weitere interessante Erkenntnisse zur Sonderstellung der Gletscher am Alpennordrand im Gegensatz zu denen der Zentralalpen zu erwarten.

# A. Anhang

## A.1. Mitarbeiter

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von K. Reingruber, E. Lemmerer, P. Trawöger, K. Burggassner, K. Helfricht und M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht stammen von 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.1: 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.2: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

## 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.