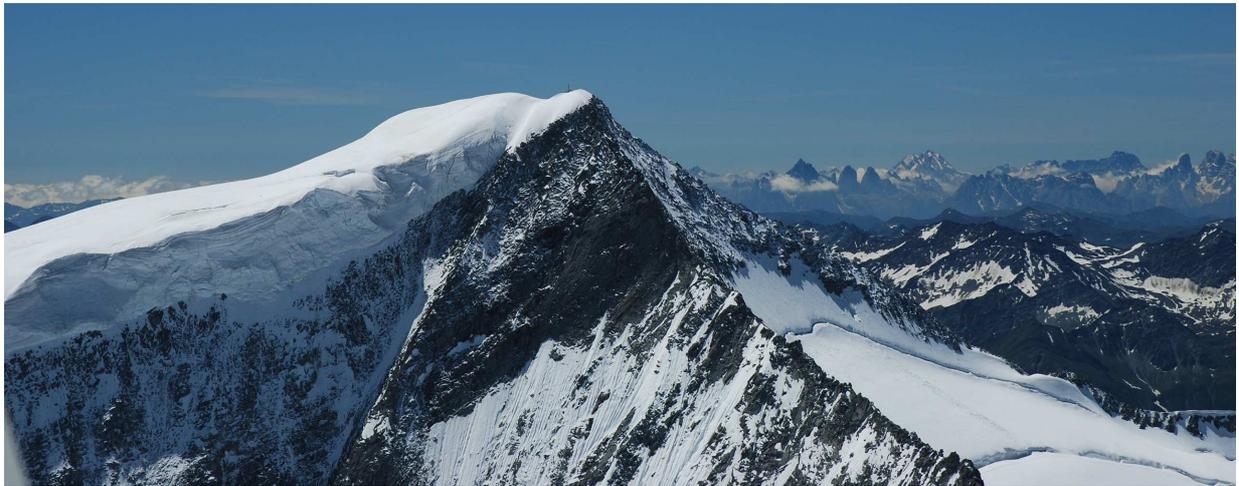


ÄUSSERES MULLWITZKEES

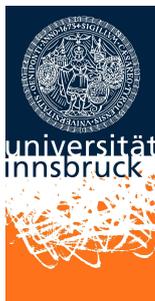
MASSENHAUSHALT 2009/2010



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

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

20.02.2011





im Auftrag von:

Hydrographischer Dienst Tirol
Herrengasse 1–3
A–6020 Innsbruck, Austria
hydrographie@tirol.gv.at
Tel.: +43(0)512 508 4251
Fax.: +43(0)512 508 4205

Nationalpark Hohe Tauern
Nationalparkverwaltung Tirol
Kirchplatz 2
A–9971 Matrei i. O., Austria
Tel.: +43(0)4875 5161 0
Fax.: +43(0)4875 5161 20

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

andrea.fischer@uibk.ac.at

www.imgi.uibk.ac.at

Tel.: +43(0)512 507 5492

Tel.: +43(0)512 507 5467

Fax.: +43(0)512 507 2924

Inhaltsverzeichnis

Inhalt	1
1 Allgemeines	2
2 Methode	4
3 Durchgeführte Arbeiten	5
3.1 Pegelablesungen	5
3.2 Frühjahrsbegehung	5
3.3 Herbstbegehung	5
3.4 Wetterstation und Totalisator	6
4 Auswertung	7
4.1 Definitionen	7
4.2 Winterbilanz	8
4.3 Jahresbilanz	12
5 Zusammenfassung der Ergebnisse	16
6 Ausblick	17
7 Mitarbeiter	17

Äußeres Mullwitzkees, Massenhaushalt 2009/2010

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

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung über den Massenhaushalt des vierten Jahres einer auf fünf Jahre geplanten Messreihe am Mullwitzkees. Das Projekt wurde im Auftrag des Nationalparks Hohe Tauern und des Hydrographischen Dienstes (HD) der Abteilung Wasserwirtschaft beim Amt der Tiroler Landesregierung im September 2006 gestartet. Die Messungen werden mit Hilfe der direkten glaziologischen Methode durchgeführt. Ziel dieser Messungen ist es, den Zusammenhang zwischen dem Erscheinungsbild des Gletschers und dem lokalen Klima aufzuzeigen.

1 Allgemeines

Das Mullwitzkees befindet sich in der Venedigergruppe in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern. Der obere Teil des Gletschers (Äußeres Mullwitzkees) ist nach Süden ausgerichtet, während der untere Teil (Zettalunitzkees) und speziell die Zunge nach Süd-West bzw. West-Süd-West zeigen. Aufgrund dieser Exposition können die Ergebnisse auch auf andere Gletscher südlich des Alpenhauptkammes angewendet werden.

Die Gletschergrenze stammt aus dem Gletscherinventar von 1998 und wurde anhand von Begehungen und Fotos für die Jahre 2007 und 2008 aktualisiert. Am 31. August 2009 und 01. September 2009 wurden Gletscherzunge und Felsinseln mit dem differentiellen GPS mit einer Genauigkeit von $< 10 \text{ cm}$ eingemessen und so die Gletschergrenze für das Jahr 2009 bestimmt und damit Ungenauigkeiten der Vorjahre beseitigt.

Fläche 1998: $3,24 \text{ km}^2$

Fläche 2009: $3,03 \text{ km}^2$

Die Höhe der Gletscherzunge lag 1998 auf 2610 m und ist im Zuge der Auswertung für das Jahr 2007 auf 2690 m aktualisiert worden. Für das Jahr 2008 wurde die Höhe der Zunge nicht korrigiert. Auch 2009 lag der tiefste Punkt des Gletschers, trotz des Rückgangs auf 2690 m . Der Gletscher erstreckt sich bis in eine Höhe von 3400 m , knapp unterhalb des Hohen Zauns (3450 m). Aus Messungen im Rahmen des Gletscherinventars von 1998 ist bekannt, dass die Gletscherdicke im größten Teil des Gletschers nur zwischen 50 und 70 m beträgt. Das Mullwitzkees hat kein tiefes Firnbecken, sondern die Eisdicke wird nach oben hin eher kleiner. Dies

und seine südseitige Ausrichtung lassen erwarten, dass der Gletscher auf Klimaänderungen besonders sensibel reagiert. Abbildung 1.1 gibt einen Überblick über das Einzugsgebiet oberes Dorfertal, mit dem Orthophoto und den Gletschergrenzen des Inventars von 1998 und der DGPS korrigierten Gletschergrenze 2009 am Mullwitzkees.

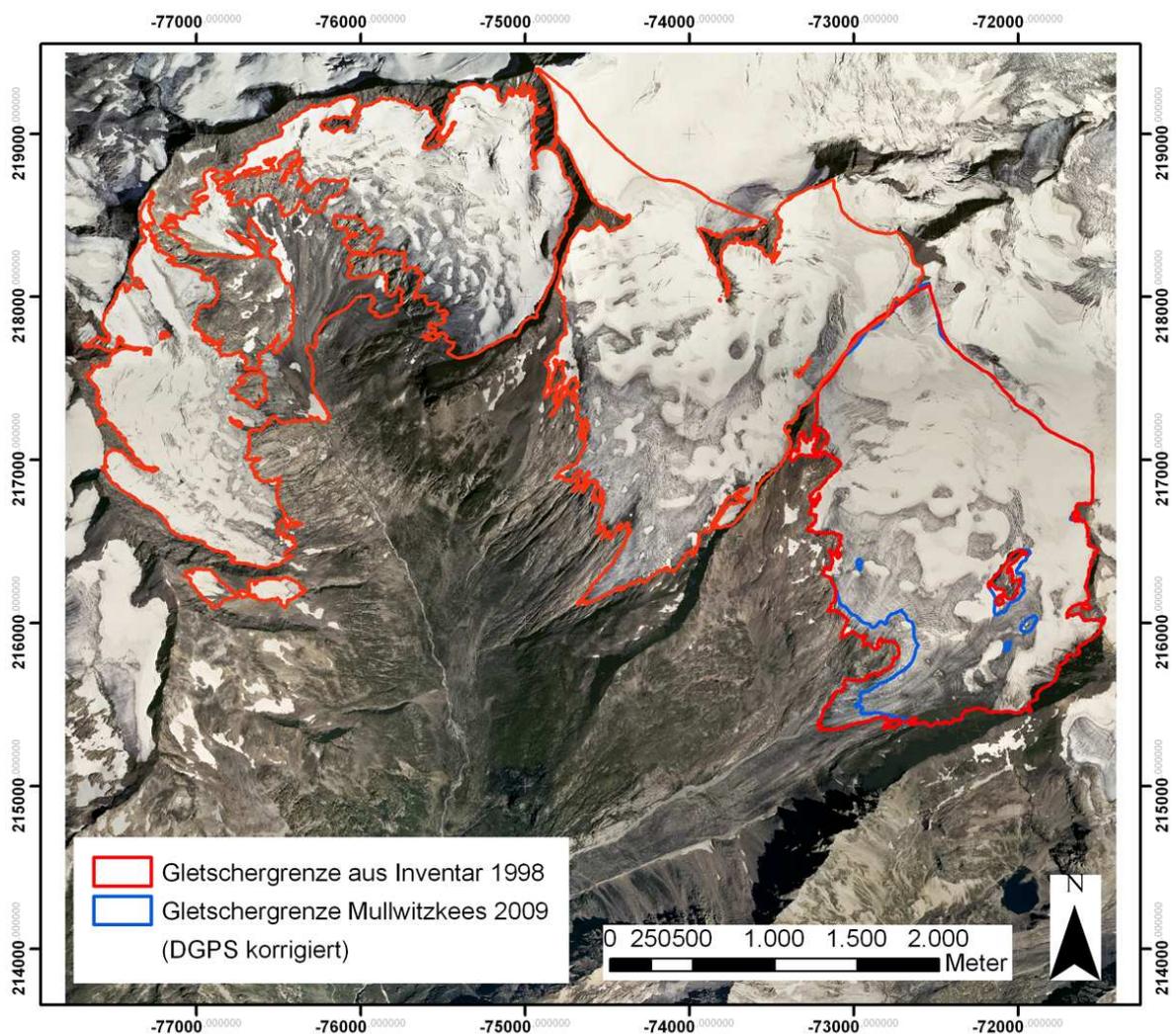


Abbildung 1.1: Einzugsgebiet oberes Dorfertal, Koordinatensystem: Gauß-Krüger M31, Orthophoto 1998.

2 Methode

Zur Bestimmung des Massenhaushalts wird die direkte glaziologische Methode mit fixem Haushaltsjahr verwendet. Dabei wird bestimmt, wie viel Masse der Gletscher im Laufe eines Jahres verliert bzw. gewinnt. Mit einem Jahr ist das hydrologische Jahr gemeint, welches am 01.10. beginnt und am 30.09. des Folgejahres endet. Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass, speziell in den Alpen, während der Akkumulationsphase 01.10. bis 30.04. der Gletscher an Masse gewinnt und während der Ablationsphase 01.05 bis 30.09 an Masse verliert. Daher wird auch von Winter-, Sommer- und Jahresbilanz gesprochen. Um die Ablation zu bestimmen, werden Pegel gebohrt, deren freie Enden mehrmals im Jahr abgelesen werden, um so den Abschmelzbetrag an diesen Punkten zu messen. Im Akkumulationsgebiet werden im Frühjahr und Herbst Schächte gegraben, um den Massenzuwachs zu erfassen. Der Massenzuwachs errechnet sich aus Tiefe des Schachtes (bis zum Firn, also dem Schnee des Vorjahres) und der gemessenen Dichte des Schnees (Abb. 2.1).



Abbildung 2.1: links: Arbeiten in einem Frühjahrsschacht; rechts: deutlicher Schmutzhorizont im Herbstschacht 1.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Pegelablesungen

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2010 regelmäßig abgelesen und die Pegel 01, 04, 05, 06, 08, 15 und 17 zwischen 8 m und 12 m Tiefe neu gebohrt. Die Ablesungen und die Erneuerungen der Pegel wurden am 04.08.2010, 14/15.09.2010 und am 14/15.10.2010 durchgeführt.

3.2 Frühjahrsbegehung

Zur Bestimmung der Winterbilanz müssen am Ende des Winters Schneeschächte gegraben werden. Weiters ist es wichtig, die Änderung der Schneehöhe am Gletscher zu kennen. Diese wird mit Hilfe von Sondierungen über den ganzen Gletscher gemessen. Aufgrund einer langen Schlechtwetterperiode im Mai wurde die Frühjahrsbegehung erst am 04. und 05. Juni 2010 durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung war es möglich mit dem Auto bis zur ersten Kehre unterhalb des Gumbachkreuzes zu fahren. Von dort erfolgte der weitere Aufstieg zu Fuß über das Zettalunitzach bis zur Gletscherzunge. Aufgeteilt in zwei Gruppen wurde über die Zunge bis zu den Schächten eins und zwei und weiter zum Defreggerhaus sondiert. Nach der Übernachtung im Defreggerhaus erfolgte der weitere Aufstieg mit Sondierungen bis Schacht 3 und weiter über das Plateau und Pegel 15 sowie direkt zurück zur Zunge. Das Wetter an beiden Tagen: Auflockerungen im Tagesverlauf am 04. Juni mit starkem Wind aus N; am 05. Juni wolkenloser Himmel mit kleineren Quellwolken bis zum Nachmittag.

3.3 Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 14/15.10.2010 statt. Nach der Auffahrt mit dem Auto zur Johannishütte erfolgte der Aufstieg zum Defreggerhaus. Es wurden alle Pegel abgelesen, Sondierungen durchgeführt, im Akkumulationsgebiet drei Schneeschächte gegraben. Übernachtet wurde im Winterraum Defreggerhaus. Das Wetter an beiden Tagen: Nahezu wolkenloser Himmel mit vereinzelt Cirren, Hochnebel über den Tälern, starker böiger Wind aus Norden.

3.4 Wetterstation und Totalisator

Wichtige Parameter, die das Haushaltsjahr des Gletschers bestimmen sind unter anderen die Temperatur und der Niederschlag. Diese werden in der Wetterhütte und am Totalisator in der Nähe des Defreggerhauses gemessen (Tab. 3.1).

	Messung [<i>cm</i>]					Bemerkung	Niederschlag [<i>mm</i>]
Datum	1	2	3	4	5		
01.10.2009	61,4	61,4	61,4	61,5	61,5	Neu befüllt	
06.04.2010	42,8	42,8	42,7	42,7	42,8		606
04.06.2010	33,1	33,1	33,1	33,2	33,2		923
03.07.2010	28,9	28,9	28,9	28,8	28,8		1061
04.08.2010	22,6	22,6	22,6	22,7	22,7		1264
15.09.2010	14,4	14,5	14,5	14,5	14,4		1503
14.10.2010	9,0	9,0	9,0	8,9	8,9		1614

Tabelle 3.1: Auslesung Totalisator (von oben) und Niederschlag.

Nach der Sicherung der Wetterhütte mit einer massiven Kette mit Vorhängeschloss im Vorjahr wurde die Hütte nicht erneut aufgebrochen, wodurch es das erste Mal seit Beginn der Messungen im Oktober 2006 möglich war, die Temperatur über ein Jahr aufzuzeichnen (Abb. 3.1). Die Temperaturdaten werden nach dem nächsten Austausch des Temperaturfühlers (voraussichtlich Anfang April) zur Verfügung stehen. Am 04.06.2010 wurde der Temperaturfühler Nr.: 1298192 mit der NR.: 1176823 ausgetauscht.



Abbildung 3.1: links: Sicherung der Wetterhütte mit Eisenkette am 19.09.2009; rechts: Gesicherte Wetterhütte am 04.08.2010.

4 Auswertung

4.1 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 4.1: Notationen die in dieser Arbeit verwendet werden.

$$S = S_c + S_a \quad (4.1) \qquad B = B_c + B_a \quad (4.2)$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

$$b = b_{wi} + b_{so} \quad (4.3) \qquad b_{so} = b - b_{wi} \quad (4.4)$$

$$b_{wi} = B_{wi}/S \quad (4.5) \qquad b_{so} = B_{so}/S \quad (4.6)$$

$$b_c = B_c/S_c \quad (4.7) \qquad b_a = B_a/S_a \quad (4.8)$$

Tabelle 4.2: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

4.2 Winterbilanz

Um die Winterbilanz zu bestimmen, wird aus der ermittelten Dichte und Tiefe der Frühjahrsschächte der Wasserwert berechnet. Die Schneehöhe der Sondierungen wird ebenfalls mit der mittleren Dichte der Schächte in Wasseräquivalent umgerechnet. Aus Tabelle 4.3 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Frühjahrsschächte zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.1.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
1	3155	3,21	409	1313
2	3220	4,13	432	1783
3	3310	2,94	379	1114

Tabelle 4.3: Seehöhe, Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert der Frühjahrsschächte.

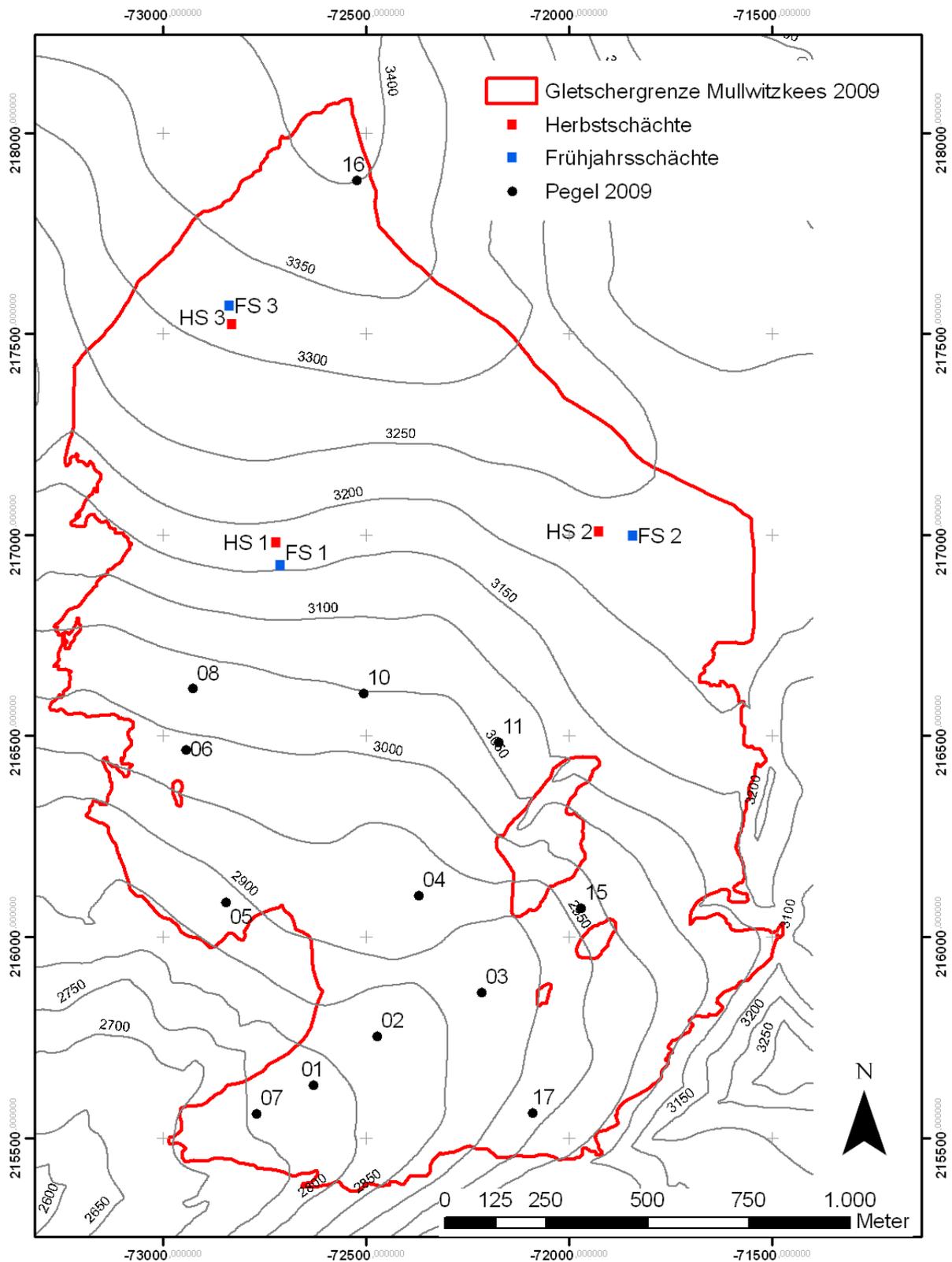
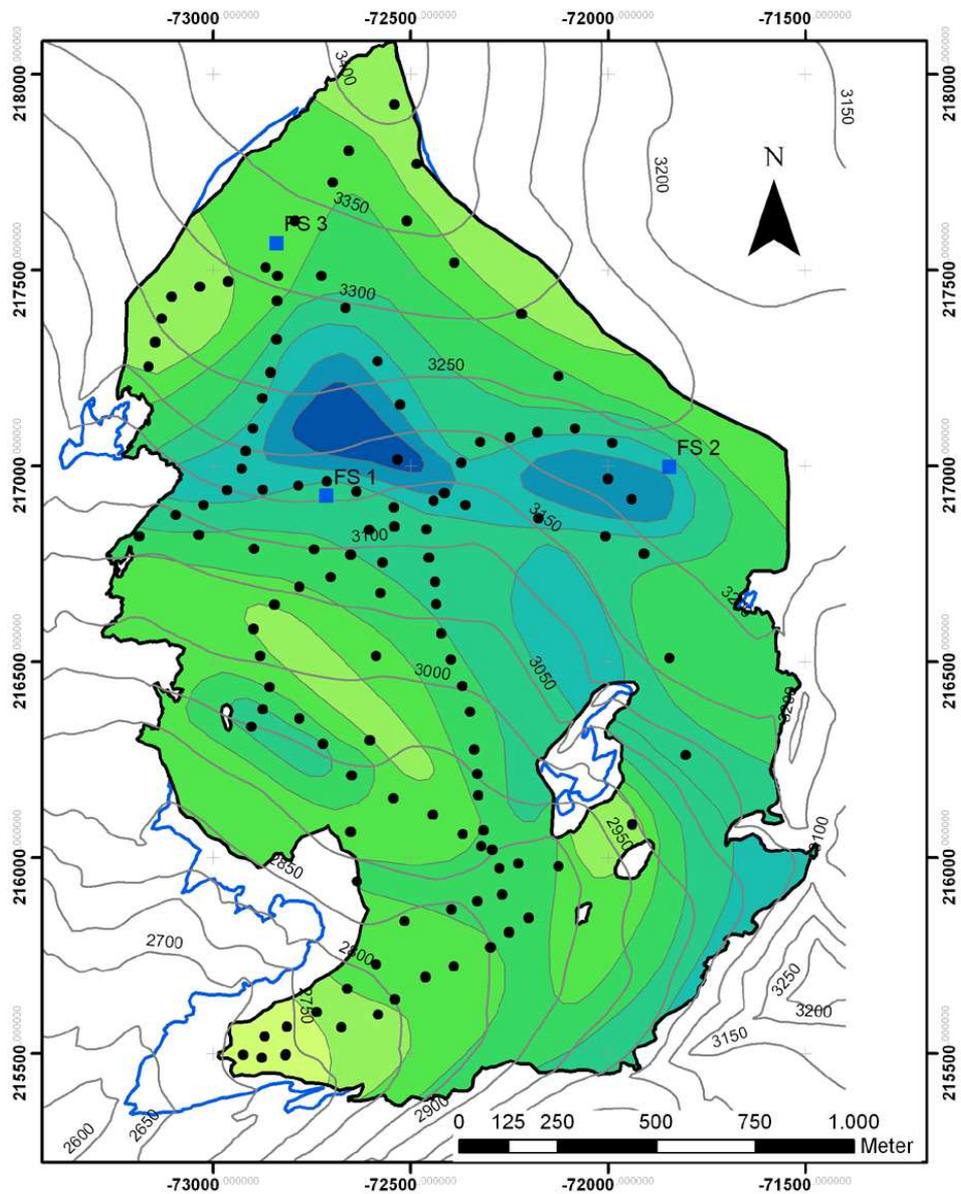


Abbildung 4.1: Mullwitzkees mit Gletschergrenze 2009 (DGPS korrigiert) Lage der Pegel und der Frühjahrs- und Herbstschächte.



Legende



Abbildung 4.2: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 04.06.2010 und Gletschergrenze 1998, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

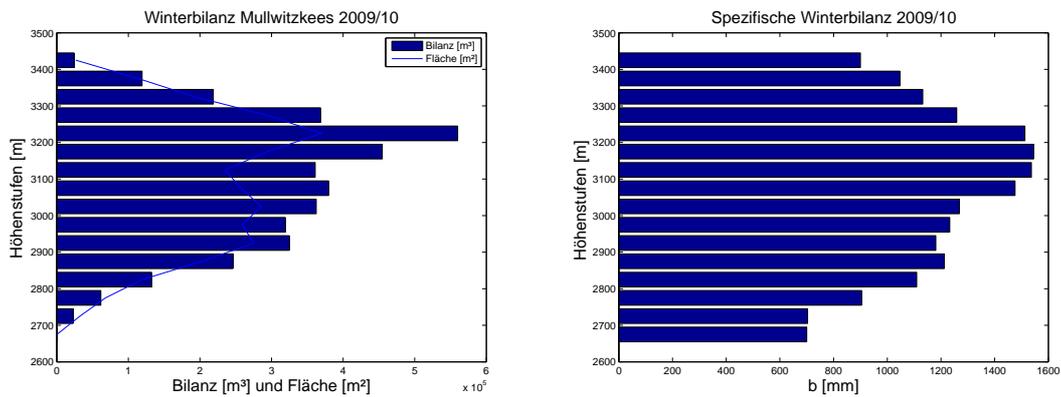


Abbildung 4.3: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für die Winterbilanz des hydrologischen Jahres 2009/10 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
2675	0,000	0,1	700
2725	0,033	22,9	703
2775	0,068	61,6	904
2825	0,119	132,4	1110
2875	0,203	246,1	1212
2925	0,275	324,8	1181
2975	0,259	319,2	1232
3025	0,286	362,5	1269
3075	0,257	379,7	1476
3125	0,235	361,0	1537
3175	0,294	454,7	1545
3225	0,370	560,0	1512
3275	0,293	368,4	1259
3325	0,193	218,6	1132
3375	0,114	119,2	1047
3425	0,027	24,0	900
Gesamt	3,026	3956	1307

Tabelle 4.4: Flächen- und Winterbilanz- Höhenverteilung (Mittelwerte der Höhenstufen).

Aus Tabelle 4.4 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2009 bis 31.05.2010, zu

entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 3955,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2009/10 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von $b_{wi} = 1307 \text{ mm}$. In Abbildung 4.2 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 31.05.2010 sowie die Lage der Schächte und Punkte der Sondierungen am Mullwitzkees dargestellt. Der Verlauf der Nettobilanz, der Fläche und der mittleren spezifischen Bilanz pro Höhenstufe gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2009/10 sind in Abbildung 4.3 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 3955,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{wi} = 1307 \text{ mm}$$

4.3 Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2009 – 30.09.2010) sind sowohl die Ablationswerte als auch die Akkumulationswerte über diesen Zeitraum betrachtet von ausschlaggebender Bedeutung. Die Ablationswerte am Ende des hydrologischen Jahres, welche ja Messwerte in cm Eis darstellen, werden mit einer mittleren Dichte von Eis $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ in mm Wasserwert umgerechnet. Der zweite Term in der Jahresbilanz ist die Rücklage am Ende des hydrologischen Jahres. Sie wird ebenfalls in mm Wasser angegeben und wird gebildet aus dem Produkt Schachttiefe mal mittlerer Dichte des Schachtes. Aus Tabelle 4.5 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Herbstschächte und aus Tabelle 4.6 die Wasserwerte der einzelnen Pegel zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 4.1.

Schachtnummer	Seehöhe [m]	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]
1	3180	2,93	557	1631
2	3235	1,18	449	529
3	3310	1,26	426	536

Tabelle 4.5: Seehöhe, Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert der Herbstschächte.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
1	-2043	8	-1620
2	-1557	10	-885
3	-1174	11	-1079
4	-1410	15	-2124
5	-1449	16	-293
6	-1674	17	-898
7	-3231		

Tabelle 4.6: Wasserwerte der Pegel.

Zusätzlich werden im Rahmen der Herbstbegehung Sondierungen durchgeführt, um die Verteilung der Altschneedecke zu bestimmen. Mit Hilfe von Fotos, den Sondierungen und den einzelnen Wasserwerten, wird eine Karte, Abbildung 4.4, mit Isolinien des Wasserwertes erstellt und die Jahresbilanz berechnet. Das Gebiet der Rücklage (Grün) ist bestimmt durch die Schneeverfrachtung während des Jahres. Da der Wind hauptsächlich, besonders im Winter, aus Nord bzw. Nord-West weht, wurden, wie in den Jahren zuvor die größten Schneehöhen in den Mulden bzw. im Lee der überströmten Kanten gefunden. Die rote Linie (Gleichgewichtslinie) markiert den Übergang zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet. Das Maximum der Ablation wurde am Zungenende des Gletschers gefunden. Aus Tabelle 4.7 sind die Werte der Jahresbilanz zu entnehmen.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
2675	0,000	-0,7	-3250
2725	0,033	-105,8	-3249
2775	0,068	-162,1	-2379
2825	0,119	-182,0	-1525
2875	0,203	-252,6	-1244
2925	0,275	-352,3	-1281
2975	0,259	-265,9	-1026
3025	0,286	-224,1	-784
3075	0,257	-66,5	-259
3125	0,235	39,5	168
3175	0,294	65,4	222
3225	0,370	86,5	234
3275	0,293	-42,5	-145
3325	0,193	12,3	64
3375	0,114	-23,9	-210
3425	0,027	-6,7	-250
Gesamt	3,026	-1481	-490

Tabelle 4.7: Flächen- und Jahresbilanz- Höhenverteilung (Mittelwerte der Höhenstufen).

Wie bereits bei der Winterbilanz wird über die jeweiligen Flächen integriert und anschließend mit der Gesamtfläche die spezifische Jahresmassenbilanz ermittelt. Die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.09.2010, die Gletschergrenze von 1998 und 2009 sowie die Punkte der Sondierungen und Schächte sind in Abbildung 4.4 grafisch dargestellt. In Abbildung 4.5 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -1481,4 \cdot 10^3 m^3$$

$$b = -490 mm$$

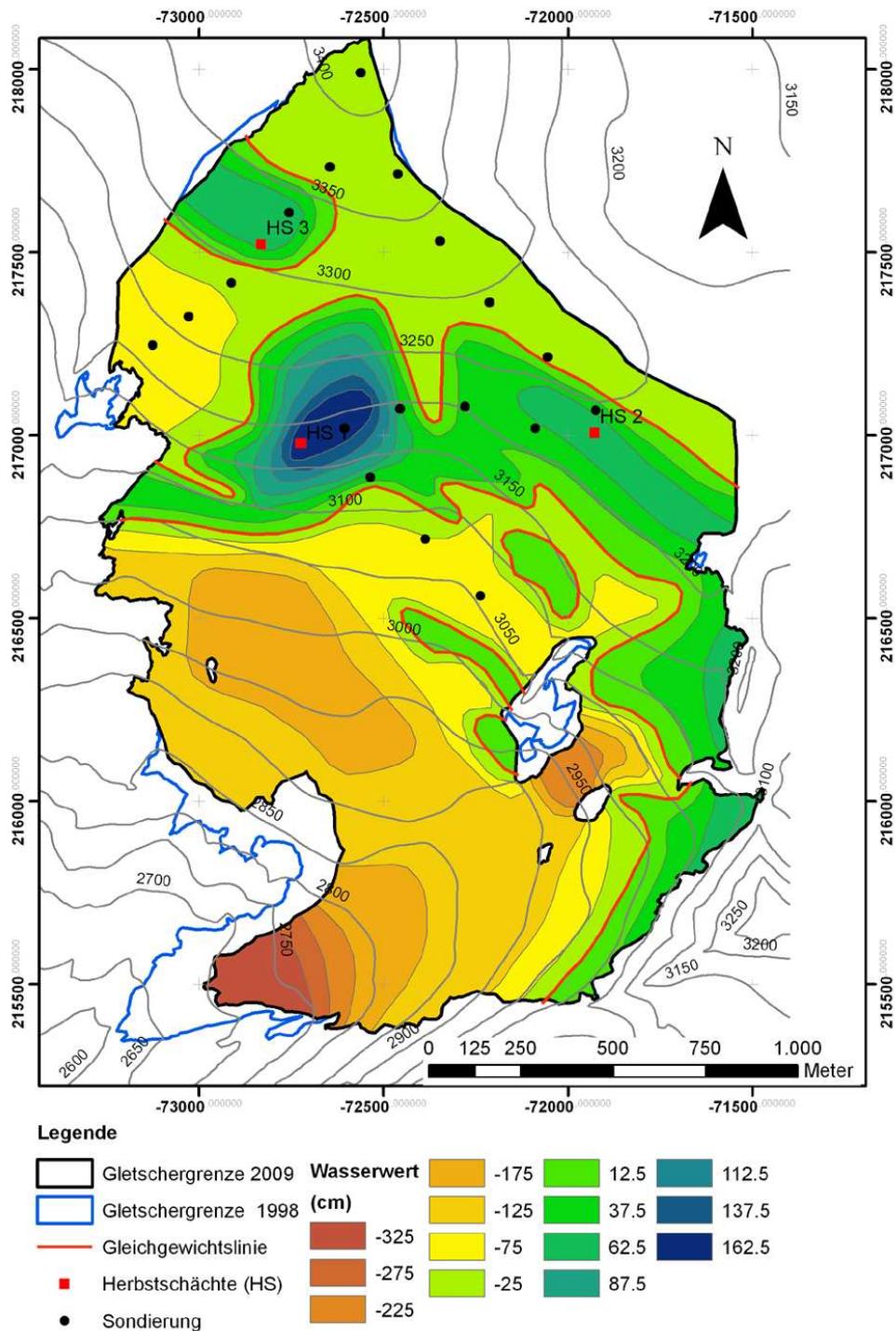


Abbildung 4.4: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2010 und Gletschergrenze 1998, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

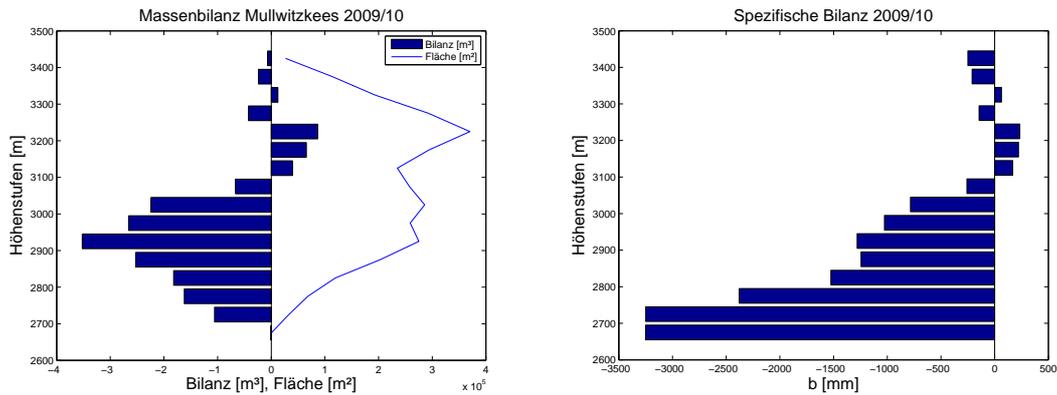


Abbildung 4.5: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für die Jahresbilanz des hydrologischen Jahres 2009/10 am Mullwitzkees.

Um nun auf die Sommerbilanz zu schließen, wird die Winterbilanz von der Jahresbilanz subtrahiert. Dabei gelten die oben genannten Formeln:

$$B_{so} = B - B_{wi} \text{ und } b_{so} = b - b_{wi}$$

Für die Sommerbilanz ergeben sich daher folgende Werte:

$$B_{so} = -5436,9 \cdot 10^3 m^3$$

$$b_{so} = -1797 mm$$

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 5.1 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst.

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
S_c	1,003			km^2
B_c	424,2			$10^3 m^3$
b_c	423			mm
S_a	2,023			km^2
B_a	-1905,7			$10^3 m^3$
b_a	-942			mm
S	3,026	3,026	3,026	km^2
B	-1481,4	3955,5	-5436,9	$10^3 m^3$
b	-490	1307	-1797	mm
S_c/S	0,332			
ELA	3105			m

Tabelle 5.1: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2009/10.

6 Ausblick

Nach dem Ende des laufenden hydrologischen Jahres werden die fünf Massenhaushaltsjahre überarbeitet und ein erster Versuch unternommen den Massenhaushalt des Mullwitzkeeses mit dem lokalen Klima in Verbindung zu setzen. Aufgrund der erfolgreichen Sicherung der Wetterhütte werden im besten Fall zumindest zwei vollständige hydrologische Jahre mit Temperaturdaten zur Verfügung stehen.

7 Mitarbeiter

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von M. Stocker-Waldhuber, K. Helfricht, E. Egger, A. Haberkorn, S. Galos, B. Hendrich, R. Mariacher und F. Hofmann durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht stammen von M. Stocker-Waldhuber.