ÄUSSERES MULLWITZKEES

MASSENHAUSHALT 2017/2018



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

MAG. M. STOCKER-WALDHUBER, PD DR. A. FISCHER 07.11.2018











im Auftrag von:

Hydrographischer Dienst Tirol

Herrengasse 1–3

A-6020 Innsbruck, Austria

Tel.: +43(0)5125084251Fax.: +43(0)512 508 4205

hydrographie@tirol.gv.at

Nationalpark Hohe Tauern Nationalparkverwaltung Tirol Kirchplatz 2

A-9971 Matrei i. O., Austria

Tel.: +43(0)487551610Fax.: +43(0)4875 5161 20

Durchführung der Arbeit

Mag. Martin Stocker-Waldhuber^{1/2}

martin.stocker-waldhuber@uibk.ac.at

Tel.: +43(0)512 507 49457 Fax.: +43(0)512 507 49499 PD Dr. Andrea Fischer¹

andrea.fischer@oeaw.ac.at

Tel.: +43(0)512 507 49451 Fax.: +43(0)51250749499

1 Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften Technikerstraße 21a, Otto Hittmair-Platz 1, A-6020 Innsbruck, Österreich www.mountainresearch.at

2 Lehrstuhl für Physische Geographie

Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Ostenstraße 14, D-85072 Eichstätt, Deutschland http://www.ku.de/mgf/geographie/

Inhaltsverzeichnis

Ini	haltsverzeichnis	3
1.	Allgemeines	4
2.	Methode	6
3.	Durchgeführte Arbeiten	7
	3.1. Pegelablesungen	7
	3.2. Frühjahrsbegehung	7
	3.3. Herbstbegehung	7
	3.4. Wetterstation und Totalisator	8
4.	Auswertung	9
	4.1. Definitionen	9
	4.2. Winterbilanz	11
	4.3. Jahresbilanz	14
5.	Zusammenfassung der Ergebnisse	18
6.	MitarbeiterInnen	20
7.	Ausblick	20
Lit	teratur	20
Δ	Anhang	21

Äußeres Mullwitzkees, Massenhaushalt 2017/2018 Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung über den Massenhaushalt des Mullwitzkeeses im hydrologischen Jahr 2017/18. 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 Massenhaushalt 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. Die Ergebnisse erlauben Rückschlüsse auf andere Gletscher südlich des Alpenhauptkammes.

Die Gletschergrenzen der südlichen Gletscher der Venedigergruppe wurden auf Grundlage der Gletscherränder von 1998 und von Orthophotos für das Jahr 2009, 2012 und 2015 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at) neu kartiert.

Fläche 1998: 3, 24 km²

Fläche 2009: 2, 93 km²

Fläche 2012: $2,80 \ km^2$

Fläche 2015: 2, 78 km²

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 2015 lag der tiefste Punkt des Gletschers, trotz des Rückgangs noch 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 gibt einen Überblick über das Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, mit dem Orthophoto von 2015 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at) und den Gletschergrenzen des Inventars von 1998 und 2009 (Fischer et al., 2015) bzw. 2012 und 2015 am Mullwitzkees.

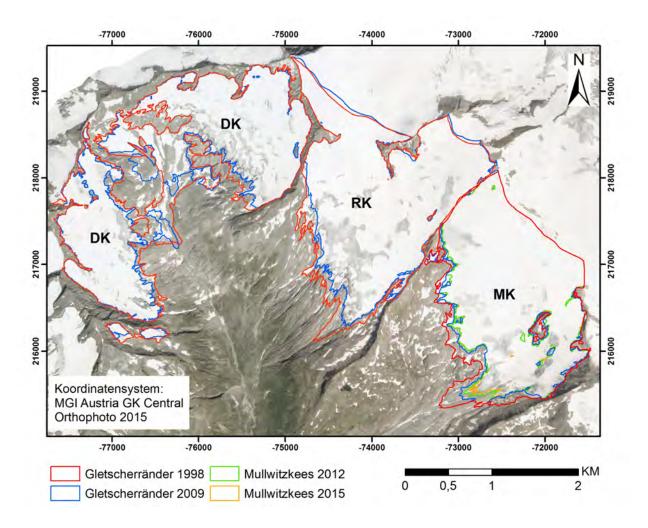


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, Koordinatensystem: MGI Austria GK Central, Orthophoto 2015 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at). DK: Dorfer Kees, RK: Rainer Kees (Inneres Mullwitzkees), MK: Mullwitzkees (Äußeres Mullwitzkees, die Zunge wird auch als Zettalunitzkees bezeichnet.)

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 der Tiefe des Schachtes (bis zum Firn, also dem Schnee des Vorjahres) und der gemessenen Dichte des Schnees (Abb. 2).



Abbildung 2: Frühjahrsschacht 2 (links) am 29.04.2018 und Herbstschacht 2 (rechts) am 19.09.2018.

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1. Pegelablesungen

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2018 regelmäßig abgelesen bzw. die Pegel 1, 6, 13, 16 und 19 je 8 m neu gebohrt. Der Pegel bei Schacht 3 wurde 2018 ebenfalls 6 m neu gebohrt und mehrmals abgelesen. Es ist dies somit das dritte Jahr in Folge, dass an Schachtposition 3 keine Akkumulation stattfindet. Die Ablesungen und die Erneuerungen der Pegel wurden am 21.09.2017, 06.08.2018, 11.09.2018 und am 19.09.2017 durchgeführt.

3.2. Frühjahrsbegehung

Zur Bestimmung der Winterbilanz müssen am Ende des Winters Schneeschächte gegraben werden. Weiters ist es wichtig, die räumliche Verteilung der Schneehöhe am Gletscher zu kennen. Die Frühjahrsbegehung wurde am 29-30. April 2018 durchgeführt. Nach der Fahrt mit dem Venedigertaxi bis unterhalb des zweiten Steinbruchs, erfolgte der weitere Aufstieg zu Fuß über die Johannishütte zum Defreggerhaus. Aufgeteilt in 3 Gruppen wurden die Schächte 3, 2 und 1 gegraben und die Schneehöhen im oberen Gletscherbereich sondiert. Nach der Übernachtung im Defreggerhaus erfolgten, aufgeteilt in zwei Gruppen, die Sondierungen im unteren Gletscherberich bis zur Gletscherzunge, wo auch Schacht 4 gegraben wurde. Das Wetter an beiden Tagen: Zu Beginn sonnig und windstill. Aufziehende Bewölkung im Tagesverlauf und zunehmender Wind. Graupelschauer und etwas Neuschnee in der Nacht. Am 30. April im Tagesverlauf Auflockerungen bei weiterhin stürmischem Südwind.

3.3. Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 19. und 20. September 2018 statt. Vom Defreggerhaus ausgehend erfolgte der Aufstieg über Schacht 3 Richtung P16. Im Abstieg wurden die Schächte 2 und 1 gegraben. Im Anschluss erfolgte die "untere Pegelrunde". Wie bereits in den beiden Vorjahren war bei Schacht 3 keine Rücklage mehr vorhanden. Mit Hilfe eines Pegels konnte allerdings die Ablation an dieser Stelle bestimmt werden. Im Bereich von Schacht 2 wurden mehrere sehr große Spalten sichtbar, daher wird eine Verlagerung des Schachtstandortes angedacht. Das Wetter zum Zeitpunkt der Herbstbegehung: Nach Niederschlag, Restbewölkung und zähem Nebel im Gipfelbereich, sehr sonnige Bedingungen bei leichtem bis mäßigem Nordwind.

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 (für den Niederschlag s. Tab. 1). Der Temperaturfühler in der Wetterhütte wurde am 19.09.2018 ausgetauscht (neu: SN.: 20162599).

		Mes	ssung [cm]	Bemerkung	Niederschlag [mm]	
Datum	1	2	3	4	5		
22.09.2017	67,1	67,1	67,2	67,2	67,2	neu befüllt	0
02.04.2018	42,0	42,3	41,5	41,8	42,0	gefroren	
30.04.2018	40,9	40,9	41,0	41,0	41,0		852
31.05.2018	36,8	36,8	36,9	36,9	36,9		987
03.07.2018	31,9	31,9	32,0	32,0	32,0		1147
07.08.2018	27,2	27,2	27,3	27,3	27,3		1301
11.09.2018	23,5	23,5	23,6	23,6	23,6		1422
19.09.2018	22,4	22,4	22,5	22,5	22,5		1455

Tabelle 1: Auslesung Totalisator (Abstichmaß von oben) und Niederschlag. Am 02.04 war die Flüssigkeit im Totalisator gefroren. Diese Werte wurden für die Berechnung des Niederschlags nicht verwendet.

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_{ϵ}	Fläche des Akkumulationsgebietes	B_c	Gesamtbilanz Akkumulationsgebiet
b_c	spezifische Bilanz Akkumulationsgebiet	wi	als Index bedeutet Winter
sc	als Index bedeutet Sommer	ELA	Höhe der Gleichgewichtslinie
S_{c}	$_{c}/S$ Verhältnis Akkumulations- Gesamtfläche	WW	Wasserwert

Tabelle 2: Notationen, die in dieser Arbeit verwendet werden.

$$S = S_c + S_a \tag{1}$$

$$B = B_c + B_a \tag{2}$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

(3)

(5)

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

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

$$b_{wi} = B_{wi}/S (5) b_{so} = B_{so}/S (6)$$

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

(4)

(6)

$$b_c = B_c/S_c \tag{8}$$

Tabelle 3: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

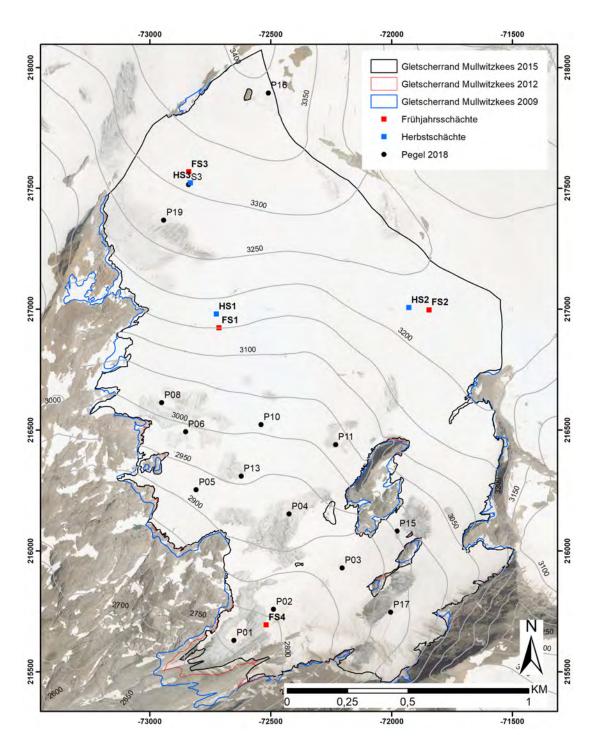


Abbildung 3: Mullwitzkees mit Gletschergrenzen von 2009, 2012 und 2015; Lage der Pegel, der Frühjahrs- und Herbstschächte. Hintergrund: Orthophoto 2015, Datenquelle: Land Tirol – data.tirol.gv.at.

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 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Frühjahrsschächte zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 3. Der Wasserwert des Neuschnees vom September 2017 wurde an den jeweiligen Frühjahrsschächten abgezogen. Somit ist der korrigierte Wasserwert für die Akkumulationsperiode zwischen 01.10.2017 und 30.04.2018 gültig.

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte $[kg/m^3]$	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1	4,40	483	2125	2015
2	3,96	472	1869	1736
3	2,15	426	916	661
4	2,35	485	1140	1016

Tabelle 4: Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert bzw. korrigierter Wasserwert der Frühjahrsschächte.

Aus Tabelle 5 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2017 bis 30.04.2018, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi}=3186,7\cdot10^3~m^3$ ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2017/18 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von $b_{wi}=1148~mm$. In Abbildung 4 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.04.2018 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 2017/18 sind in Abbildung 5 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 3186, 7 \cdot 10^3 \ m^3$$
$$b_{wi} = 1148 \ mm$$

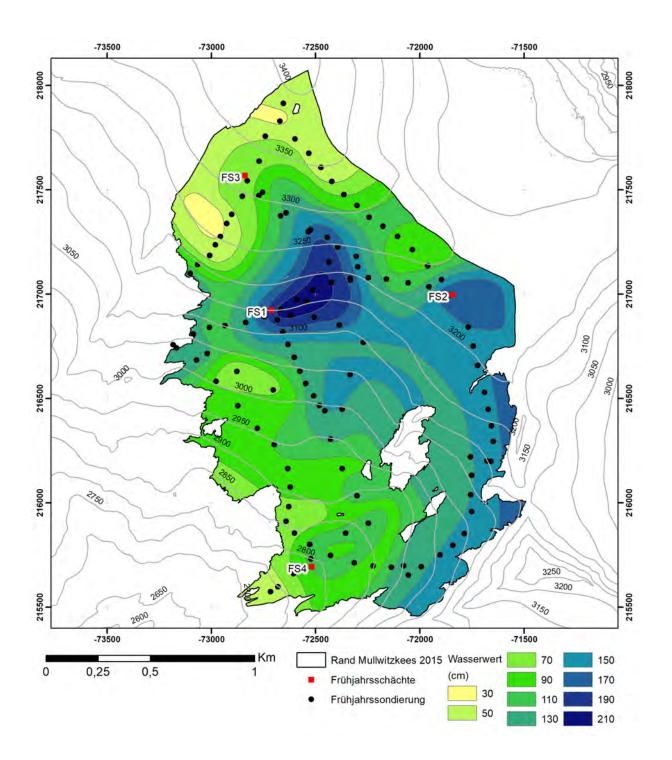


Abbildung 4: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 30.04.2018 und für die Gletschergrenze 2015, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

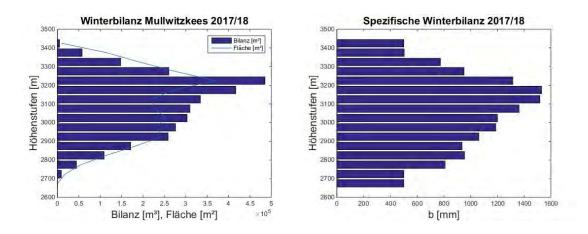


Abbildung 5: Nettobilanz $[10^5 \ m^3]$ und Fläche $[10^5 \ m^2]$ der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz $[mm \ ww]$ der Höhenstufen (rechts) gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2017/18 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km²]	Bilanz $[10^3 m^3]$	Wasserwert [mm]
3425	0,010	4,9	500
3375	0,114	57,4	503
3325	0,191	147,8	774
3275	0,274	260,2	950
3225	0,369	485,1	1315
3175	0,272	416,8	1530
3125	0,220	334,0	1518
3075	0,227	309,6	1362
3025	0,252	302,9	1200
2975	0,232	275,8	1188
2925	0,244	258,6	1061
2875	0,183	171,1	936
2825	0,114	109,0	954
2775	0,055	44,4	808
2725	0,018	9,0	500
2675	0,000	0,1	500
Gesamt	2,775	3186,7	1148

Tabelle 5: Flächen- und Winterbilanz- Höhenverteilung (Mittelwerte der Höhenstufen).

4.3. Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2017 – 30.09.2018) 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 $\rho = 900 \ kg/m^3$ 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 der Schachttiefe und der mittlerer Schneedichte des Schachtes. Aus Tabelle 6 sind die Wasserwerte und die mittlere Dichte der Herbstschächte und aus Tabelle 7 die Wasserwerte der einzelnen Pegel zu entnehmen, bzw. deren Lage aus Abbildung 3. Wie bereits bei der Winterbilanz wurde auch für die Jahresbilanz der Wasserwert, aufgrund des Schneefälle im September 2017 mit den Neuschneewerten der Herbstschächte 2017 korrigiert. Zum Zeitpunkt der Herbstbegehung waren nur bei Schacht 1 und 2 Rücklagen vorhanden. Bei Schacht 3 wurde wie in den beiden Vorjahren mit einem Hilfspegel die Ablation bestimmt. Die Ablationswerte zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 19. September wurden bis zum Ende des hydrologischen Jahres bzw. bis zu den Schneefällen am 24. September extrapoliert. Diese Schneefälle beendeten die Ablationsperiode für das Haushaltsjahr 2017/18. Durch die Extrapolation erhöhten sich die Ablationswerte an den Pegeln um bis zu 15 cm Eis.

Schachtnummer Tiefe [m]		Dichte $[kg/m^3]$	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]		
1	1,17	591	691	564		
2	0,46	523	241	93		
3	-	-	-	-522		

Tabelle 6: Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert bzw. korrigierter Wasserwert der Herbstschächte. Bei Schacht 3 entspricht der Wasserwert der Ablation am 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 7, mit Isolinien des Wasserwertes erstellt und die Jahresbilanz berechnet. Das Gebiet der Rücklage (Blau) ist bestimmt durch die Schneeverfrachtung während des Jahres. Die rote Linie (Gleichgewichtslinie) markiert den Übergang zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet, wobei im Sommer 2018 nur kleine Rücklagen im Bereich der Schächte 1 und 2 vorhanden waren. Das Maximum der Ablation wurde am Zungenende des Gletschers gefunden. Aus Tabelle 8 sind die Werte der Jahresbilanz zu entnehmen. Wie bereits bei der Winterbilanz wird über die jeweiligen Flächen integriert und anschließend mit der

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
1	-4221	11	-2529
2	-3087	13	-3618
3	-2331	15	-2214
4	-3051	16	-936
5	-2313	17	-2079
6	-2637	19	-1584
8	-2439	Schacht 3	-522
10	-756		

Tabelle 7: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2017–30.09.2018).

Gesamtfläche die spezifische Jahresmassenbilanz ermittelt. Die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.09.2018, die Gletschergrenze von 2015 sowie die Punkte der Sondierungen und Schächte im Herbst 2018 sind in Abbildung 7 grafisch dargestellt. In Abbildung 6 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -3439, 5 \cdot 10^3 \ m^3$$
$$b = -1239 \ mm$$

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

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

Für die Sommerbilanz ergeben sich daher folgende Werte:

$$B_{so} = -6626, 2 \cdot 10^3 \ m^3$$
$$b_{so} = -2387 \ mm$$

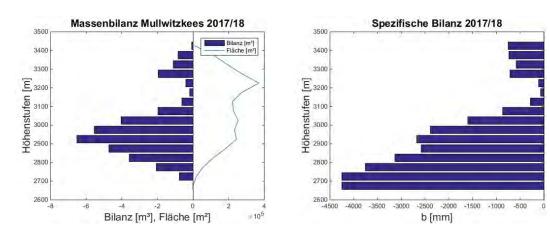


Abbildung 6: Nettobilanz $[10^5 \ m^3]$ und Fläche $[10^5 \ m^2]$ der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz $[mm \ ww]$ der Höhenstufen (rechts) gültig für das hydrologische Jahr 2017/18 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km²]	Bilanz $[10^3 m^3]$	Wasserwert [mm]
3425	0,010	-7,4	-750
3375	0,114	-84,0	-736
3325	0,191	-111,2	-582
3275	0,274	-195,3	-713
3225	0,369	-40,4	-110
3175	0,272	-18,8	-69
3125	0,220	-62,5	-284
3075	0,227	-197,0	-866
3025	0,252	-403,5	-1599
2975	0,232	-554,1	-2387
2925	0,244	-651,8	-2675
2875	0,183	-471,8	-2580
2825	0,114	-357,9	-3134
2775	0,055	-206,3	-3756
2725	0,018	-76,8	-4250
2675	0,000	-0,9	-4250
Gesamt	2,775	-3439,5	-1239

Tabelle 8: Flächen- und Jahresbilanz- Höhenverteilung (Mittelwerte der Höhenstufen).

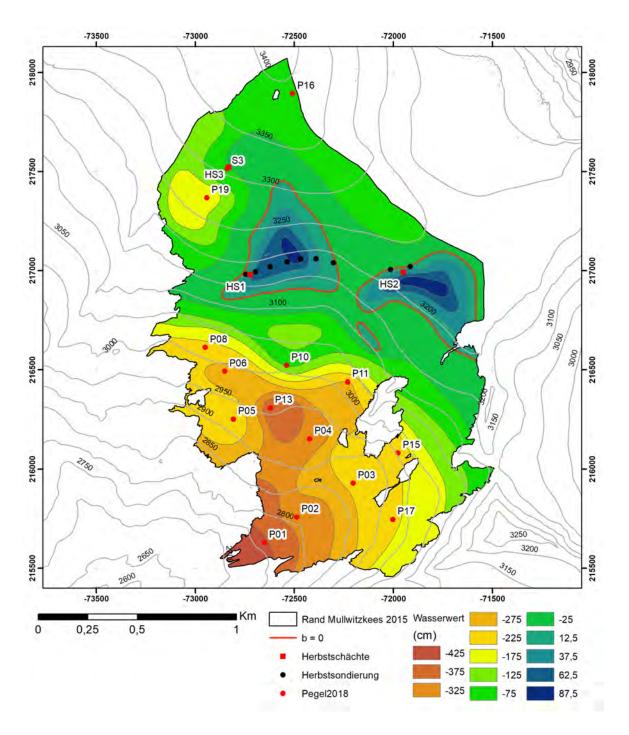


Abbildung 7: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2018 und für die Gletschergrenze 2015, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte im Herbst 2018.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst. Das Jahr 2017/18 zeichnete sich durch einen frühen Winterbeginn und teils intensive und häufige Neuschneefälle besonders im Frühund Hochwinter aus. Bis zum Ende der Akkumulationsperiode nahm der Neuschneezuwachs allerdings wieder deutlich ab und führte in Kombination mit einem überdurchschnittlich warmen April und einer markanten Saharastaubschicht (Abb. 9) zu einer "nur" durchschnittlichen Winterbilanz. Auch die Sommermonate Mai bis September waren deutlich zu warm. Nur ein einziger nennenswerter Neuschneefall ereignete sich Anfang September 2018. Bis zur Monatsmitte war das maximale Ausaperungsmuster allerdings bereits wieder sichtbar. Für den hydrologischen Sommer 2018 endete die Ablationsperiode mit Neuschnee am 24. September. Darüber hinaus setzte sich die Eisschmelze aber noch im Oktober fort. Insgesamt war der Massenhaushalt 2017/18 nur geringfügig positiver als im Vorjahr, dem dritt-negativsten Jahr seit 2006, und ähnlich negativ wie das Jahr 2011/12 (Tab. 10). Der frühe Winterschnee, welcher im Vergleich zum Frühjahrsschnee aufgrund seiner höheren Dichte deutlich mehr Schmelzenergie benötigt und somit "langlebiger" ist, bildete eine gute Grundlage und verhinderte somit ein deutlich negativeres Ergebnis der Massenbilanz, wie es nach diesem Sommer zu erwarten gewesen wäre. Allerdings lag die Gleichgewichtslinie auch in diesem Jahr, bereits zum fünften Mal seit Beginn der Messungen, über Gipfelniveau.

Die fortschreitende Ausdünnung des Eises bei diesem ohnehin gering-mächtigen Gletscher lässt immer neue Felsinseln entstehen. So ist mittlerweile der Zufluss zur Gletscherzunge in einigen Bereichen bereits deutlich verringert bzw. teilweise bereits abgeschnitten, wie etwa das neu entstandene nahezu durchgehende Felsband vom Frosnitztörl Richtung der Felsinsel zwischen Pegel 15 und Pegel 17 oder die Felsinsel unterhalb von Pegel 4 zeigen (s. Abbildung 18, Abbildung 20 und Titelbild).

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
S_c	0,362			km^2
B_c	122,8			$10^3 \ m^3$
b_c	339			mm
S_a	2,414			km^2
B_a	-3562,4			$10^3 \ m^3$
b_a	-1476			mm
S	2,776	2,776	2,776	km^2
B	-3439,5	3186,7	-6626,2	$10^3 \ m^3$
b	-1239	1148	-2387	mm
S_c/S	0,130			
ELA	>GN			m

Tabelle 9: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2017/18; > GN: über Gipfelniveau.

	S_c	B_c	b_c	S_a	B_a	b_a	S	В	b	b_s	b_w	ELA	S_c/S
	km^2	$10^6 \ m^3$	mm	km^2	$10^6 \ m^3$	mm	km^2	$10^6 \ m^3$	mm	mm	mm	m	
2006/07	0,639	0,436	682	2,444	-4,897	-2004	3,083	-4,461	-1447	-2121	674	3187	0,207
2007/08	1,220	0,932	764	1,864	-2,912	-1562	3,084	-1,980	-642	-2052	1410	3115	0,396
2008/09	1,110	0,452	408	1,916	-1,926	-1005	3,026	-1,474	-487	-2006	1519	3116	0,367
2009/10	1,003	0,424	423	2,023	-1,906	-942	3,026	-1,481	-490	-1797	1307	3105	0,332
2010/11	0,431	0,107	248	2,501	-3,926	-1570	2,931	-3,820	-1303	-2127	824	>GN	0,147
2011/12	0,326	0,064	197	2,605	-3,806	-1461	2,931	-3,741	-1276	-2772	1496	>GN	0,111
2012/13	1,207	0,618	512	1,725	-1,256	-728	2,931	-0,639	-218	-1664	1446	3119	0,412
2013/14	1,727	0,134	776	1,205	-0,998	-829	2,931	0,343	117	-1044	1161	3044	0,589
2014/15	0,238	0,047	143	2,471	-4,523	-1830	2,798	-4,476	-1599	-2966	1367	>GN	0,117
2015/16	0,631	0,205	325	2,145	-2,587	-1206	2,776	-2,382	-858	-1894	1036	3196	0,227
2016/17	0,084	0,012	140	2,692	-3,732	-1386	2,776	-3,721	-1340	-2378	1038	>GN	0,030
2017/18	0,362	0,123	339	2,414	-3,562	-1476	2,776	-3,440	-1239	-2387	1148	>GN	0,130

Tabelle 10: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz von 2006 bis 2018 (Stocker-Waldhuber et al., 2016); > GN: über Gipfelniveau.

6. MitarbeiterInnen

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von A. Jestl, B. Seiser, K. Helfricht, E. Egger, E. Lemmerer, M. Pohn, C. Oberhauser und M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht stammen von M. Stocker-Waldhuber.

7. Ausblick

Eine zusammenfassende wissenschaftliche Publikation der letzten 12 Jahre ist derzeit in Vorbereitung und wird zur Publikation in der Zeitschrift eco.mont eingereicht.

In den kommenden Jahren ist aufgrund der geringen Eisdicken, dem abnehmenden Eisfluss zur Zunge und dem vermehrten Erscheinen von Felsinseln, ein regelrechter Zerfall der Gletscherzunge in Verbindung mit deutlichen Flächenverlusten zu erwarten.

Literatur

Fischer, A., B. Seiser, M. Stocker-Waldhuber, C. Mitterer, und J. Abermann, 2015: Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. *The Cryosphere*, **9**, 753–766.

Stocker-Waldhuber, M., A. Fischer, und M. Kuhn, 2016: Glacier mass balances and elevation zones of Mullwitzkees, Hohe Tauern, Austria, 2006/2007 to 2014/2015. doi:10.1594/PANGAEA.806662.

A. Anhang



Abbildung 8: Starke Schneeverfrachtungen am 02.04.2018.



Abbildung 9: Links: Arbeiten im Frühjahrsschacht 2 am 29.04.2018. Rechts: Frühjahrsschacht 4 mit deutlicher Saharastaubschicht unter Neuschnee am 30.04.2018.



Abbildung 10: Schneebedeckung im Zettalunitzach zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung am 30.04.2018.



Abbildung 11: Geschlossene Schneedecke am Mullwitzkees am 31.05.2018.



Abbildung 12: Beginnende Ausaperung an der Gletscherzunge am 03.07.2018.



Abbildung 13: Ausaperung bis knapp unterhalb des Gletscherplateaus am 06.08.2018.



Abbildung 14: Blick vom Rainerhorn Richtung Südosten am 06.08.2018 (Inneres- (Rainerkees) und Äusseres Mullwitzkees).



Abbildung 15: Blick oberhalb Pegel 19 Richtung Rainerhorn (links), Schacht 3 (Mitte) bis Schacht 2 (rechts) am 11.09.2018.



Abbildung 16: Pegel bei Schacht 3 am 19.09.2018.



Abbildung 17: Ausaperungsmuster am 19.09.2018. Blick von Schacht 2 kommend Richtung Schacht 1.



Abbildung 18: Glexenköpfe (links) und nahezu durchgehendes Felsband unterhalb des Frosnitztörls am 19.09.2018.



Abbildung 19: Blick von Pegel 13 Richtung Nord bis Ost am 19.09.2018.



Abbildung 20: Blick von Pegel 17 Richtung Südwest über West bis Nord am 19.09.2018.