ÄUSSERES MULLWITZKEES

MASSENHAUSHALT 2018/2019

Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

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

21.11.2019

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

Dr. Martin Stocker-Waldhuber[1]
martin.stocker-waldhuber@oeaw.ac.at
Tel.: +43(0)512 507 49457
Fax.: +43(0)512 507 49499

PD Dr. Andrea Fischer[1]
andrea.fischer@oeaw.ac.at
Tel.: +43(0)512 507 49451
Fax.: +43(0)512 507 49499

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

Inhaltsverzeichnis

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**

A. Anhang **21**

Äußeres Mullwitzkees, Massenhaushalt 2018/2019 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 2018/19. 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 Orthofotos für die Jahr 2009, 2012, 2015 und 2018 (Datenquelle Orthofotos: Land Tirol – data.gv.at) neu kartiert.

Fläche 1998: $3,24\ km^2$	Fläche 2015: $2,78\ km^2$
Fläche 2009: $2,93\ km^2$	Fläche 2018: $2,56\ km^2$
Fläche 2012: $2,80\ km^2$	

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 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 ($3450\ m$). Mit der Neukartierung der Gletschergrenze für das Jahr 2018 änderte sich der Höhe der Gletscherzunge auf $2730\ m$, allerdings bezogen auf das digitale Höhenmodell von 2008. 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 Orthofoto von 2018 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at) und den Gletschergrenzen der Inventare von 1998 und 2009 (Fischer et al., 2015) sowie 2018.

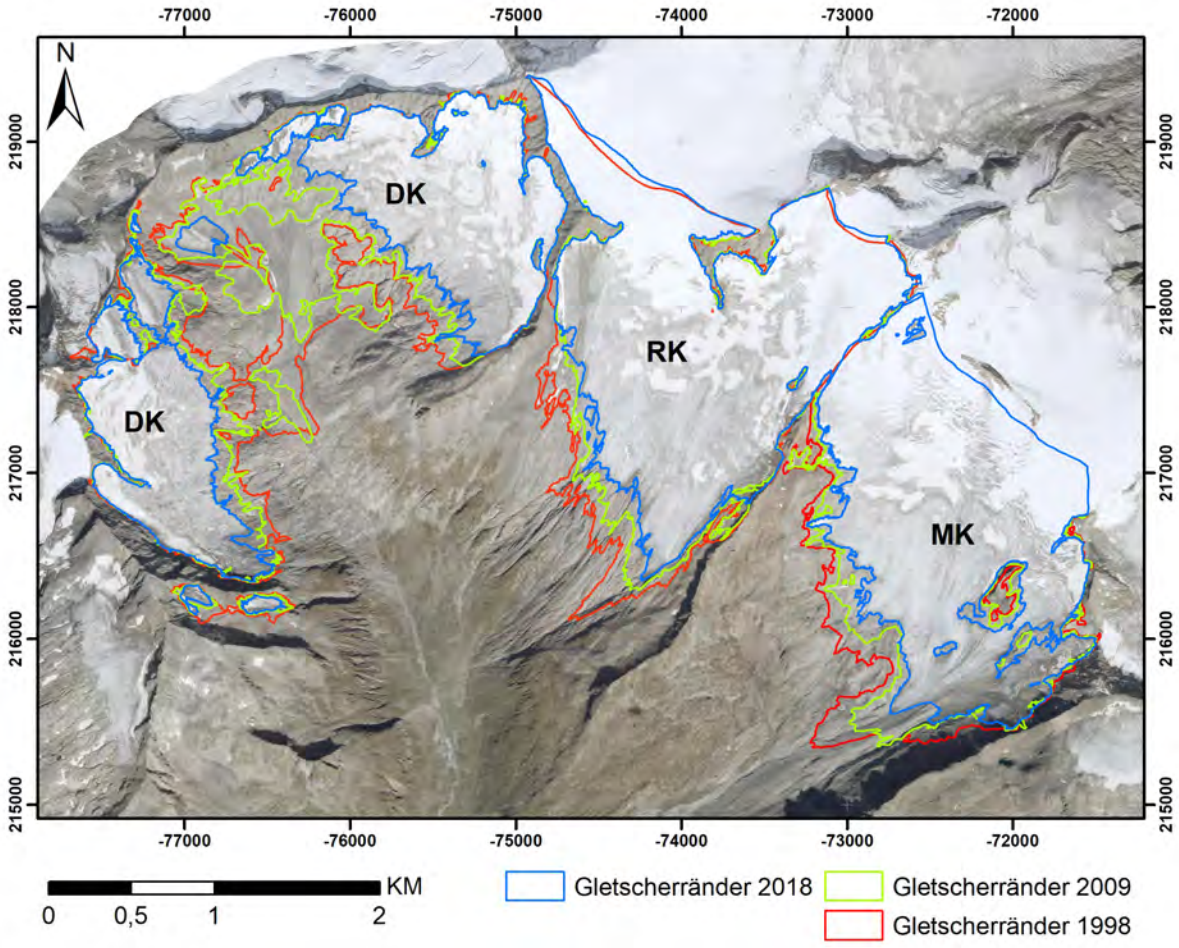

Abbildung 1: Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, Koordinatensystem: MGI Austria GK Central, Orthofoto 2018 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at). DK: Dorfer Kees, RK: Rainer Kees (Inneres Mullwitzkees), MK: Mullwitzkees (Äußeres Mullwitzkees, die Zunge wird auch als Zettalunitzkees bezeichnet.)

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).

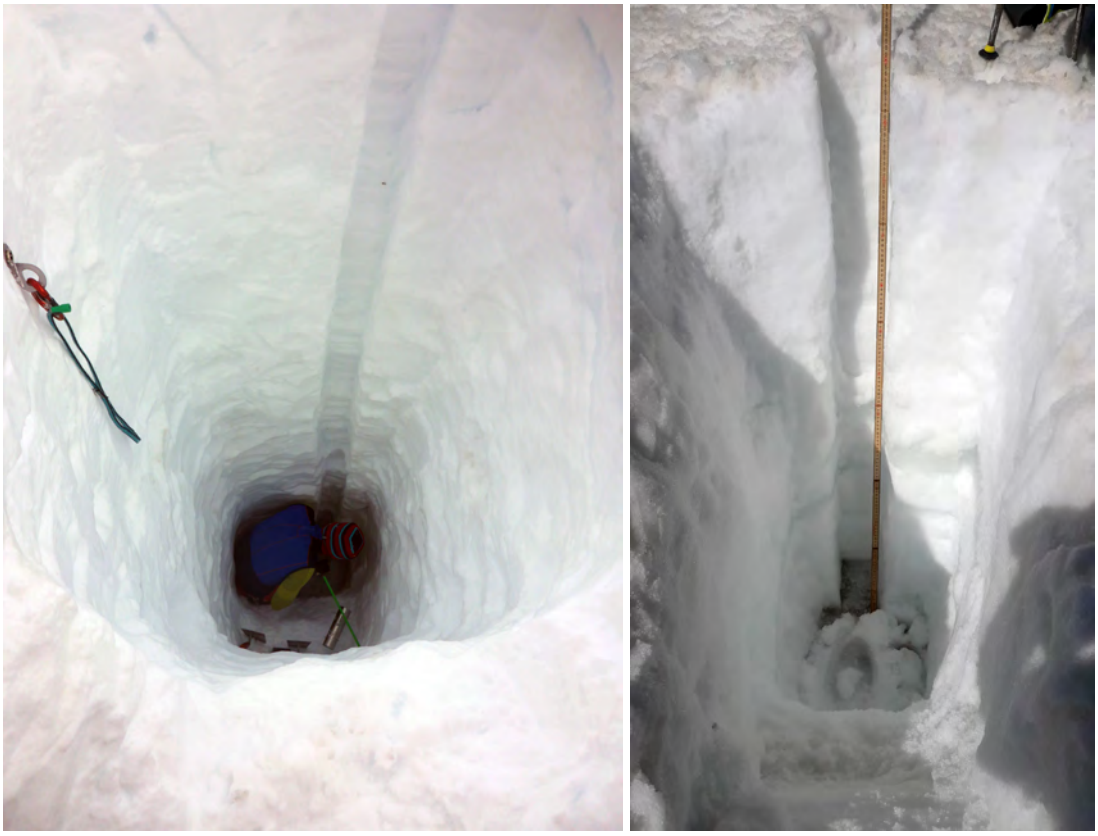

Abbildung 2: Arbeiten im Frühjahrsschacht 1 (links) am 01.05.2019 und Herbstschacht 1 (rechts) am 21.09.2019.

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1. Pegelablesungen

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2019 regelmäßig abgelesen. Alle Pegel (ausgenommen P16, P19 und PS3) wurden am 03. und 04. September jeweils $8\ m$ neu gebohrt. Die Ablesungen und die Erneuerungen der Pegel wurden am 19.09.2018, 04.08.2019, 03-04.09.2019 und am 21-22.09.2019 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 von 01-02. Mai 2019 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 2 Gruppen wurde Schacht 3 gegraben und mit den Schächten 2 und 1 begonnen, sowie die Schneehöhen im oberen Gletscherbereich sondiert. Nach der Übernachtung in der Johannishütte wurden, aufgeteilt in zwei Gruppen, die Schächte 2 und 1 fertiggestellt und im unteren Gletscherbereich bis zur Gletscherzunge sondiert, wo auch Schacht 4 gegraben wurde. Das Wetter an beiden Tagen: (Nach Neuschneefällen Ende April) gering bewölkt bis wolkenlos an beiden Tagen. Am 01. Mai starker bis stürmischer Wind am Vormittag, windschwach am Nachmittag sowie am 02. Mai. Im Tagesverlauf leichte Quellbewölkung von Süden.

3.3. Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 21. und 22. September 2019 statt. Vom Defreggerhaus erfolgte der Aufstieg zu den Ablationspegeln am Großvenediger (FWF Projekt ColdIce). Nach der Überschreitung zum Hohen Zaun wurden die oberen Pegel am Mullwitzkees abgelesen, die Schächte 2 und 1 gegraben, sowie Sondierungen durchgeführt. Wie bereits in den vergangenen Jahren war bei Schacht 3 keine Rücklage mehr vorhanden. Mit Hilfe eines Pegels (PS3) konnte allerdings die Ablation an dieser Stelle bestimmt werden. Nach der Übernachtung am Defreggerhaus wurde die Pegel unterhalb des Akkumulationsgebietes abgelesen. Das Wetter zum Zeitpunkt der Herbstbegehung: wolkenlos, nahezu windstill und für die Jahreszeit milde Temperaturen am 21. September. Aufzug hoher Bewölkung in der Nacht zum 22. September. Im Tagesverlauf starke Bewölkung.

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 22.09.2019 ausgetauscht (neu: SN.: 20162602).

	Messung $[cm]$					Bemerkung	Niederschlag $[mm]$
Datum	1	2	3	4	5		
19.09.2018	67,0	67,0	67,1	67,1	67,1	neu befüllt	0
27.12.2018	55,7	55,7	55,8	55,8	55,8		368
02.04.2019	43,7	43,7	43,8	43,8	43,8		758
01.05.2019	39,8	39,8	39,9	39,9	39,9		886
31.05.2019	34,0	34,0	34,1	34,1	34,1		1075
30.06.2019	33,3	33,3	33,4	33,4	33,4		1098
04.08.2019	27,0	27,0	27,1	27,1	27,1		1305
04.09.2019	22,3	22,3	22,4	22,4	22,4		1455
22.09.2019	20,9	20,9	21,0	21,0	21,0		1501

Tabelle 1: Auslesung Totalisator (Abstichmaß von oben) und Niederschlag.

Abbildung 3: Wetterhütte und Totalisator am 02.05.2019.

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 2: Notationen, die in dieser Arbeit verwendet werden.

$$S = S_c + S_a \qquad (1) \qquad\qquad B = B_c + B_a \qquad (2)$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

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

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

$$b_c = B_c/S_c \qquad (7) \qquad\qquad b_a = B_a/S_a \qquad (8)$$

Tabelle 3: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

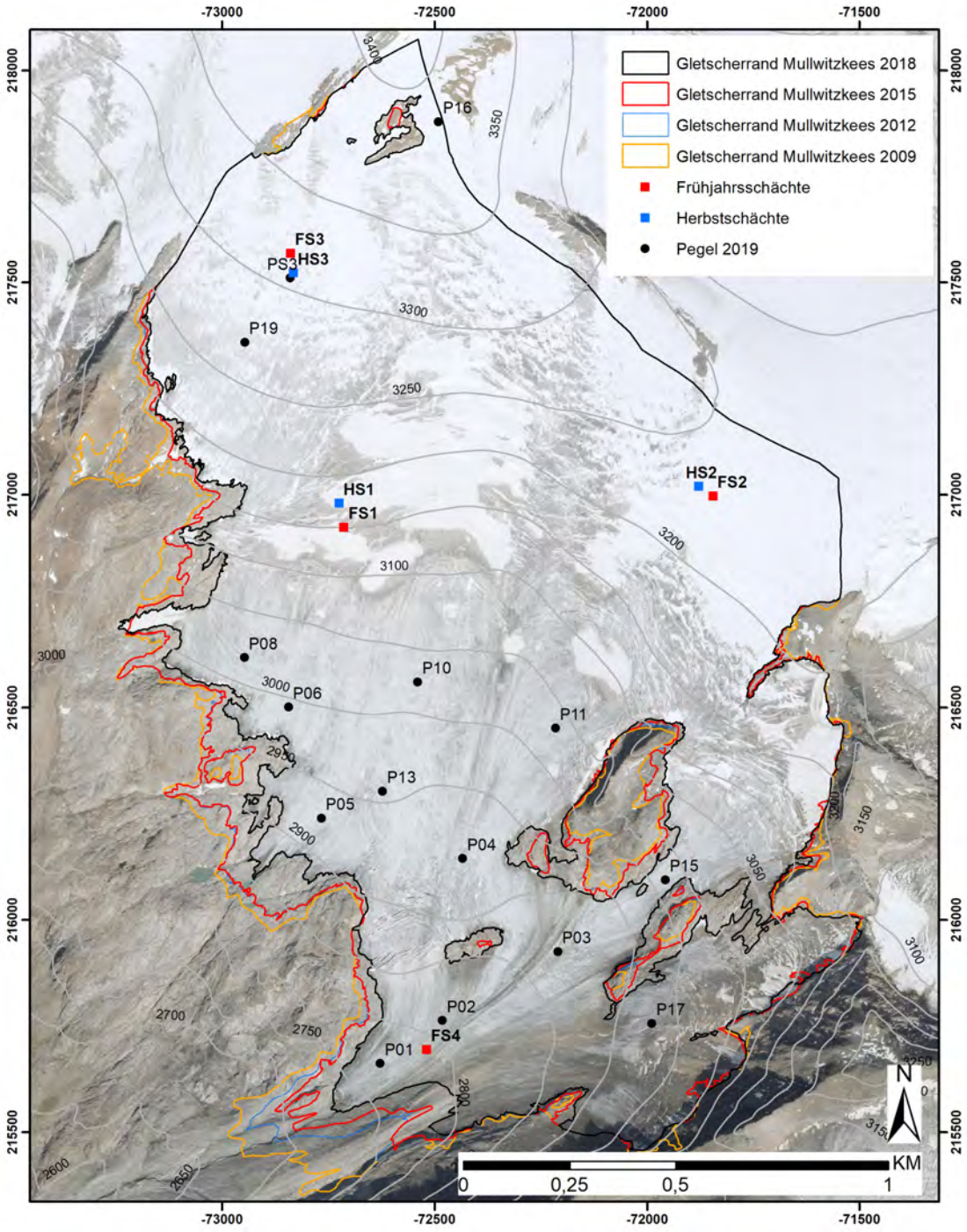

Abbildung 4: Mullwitzkees mit Gletschergrenzen von 2009, 2012, 2015 und 2018; Lage der Pegel, der Frühjahrs- und Herbstschächte. Hintergrund: Orthofoto 2018, Datenquelle: Land Tirol – data.tirol.gv.at.

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 4. Der korrigierte Wasserwert der Schneeschächte ist für die Akkumulationsperiode zwischen 01.10.2018 und 30.04.2019 gültig.

Schachtnummer	Tiefe $[m]$	Dichte $[kg/m^3]$	Wasserwert $[mm]$	korr. Wasserwert $[mm]$
1	6,05	454	2747	2748
2	5,53	459	2538	2540
3	3,10	432	1339	1340
4	3,17	416	1319	1318

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

Aus Tabelle 5 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2018 bis 30.04.2019, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 4490,4 \cdot 10^3\ m^3$ ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2018/19 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von $b_{wi} = 1751\ mm$. In Abbildung 5 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.04.2019 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 2018/19 sind in Abbildung 6 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 4490,4 \cdot 10^3\ m^3$$
$$b_{wi} = 1751\ mm$$

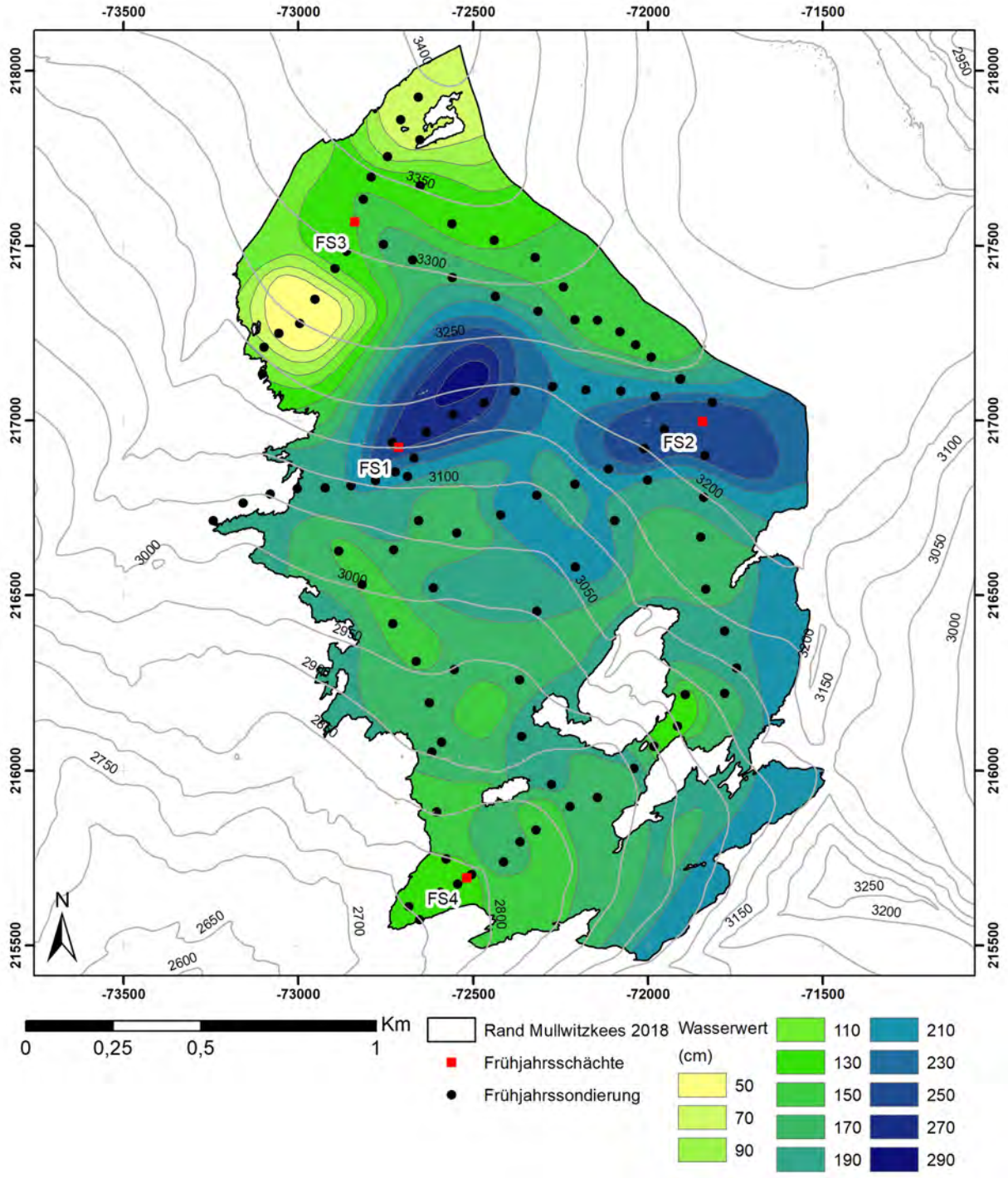

Abbildung 5: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 30.04.2019 und für die Gletschergrenze 2018, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

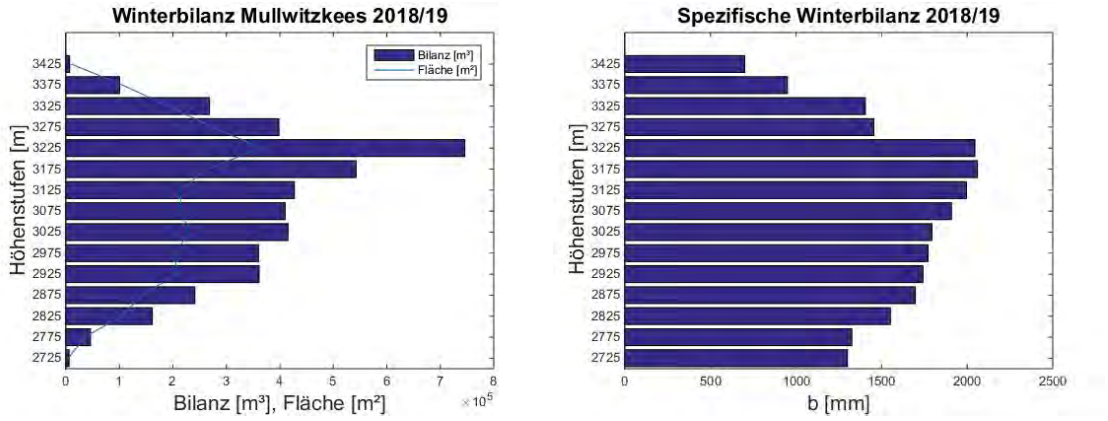

Abbildung 6: Nettobilanz [$10^5\ m^3$] und Fläche [$10^5\ m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm\ ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2018/19 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3\ m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,01	6,9	700
3375	0,106	100,5	949
3325	0,191	268,4	1405
3275	0,274	398,5	1455
3225	0,365	745,9	2045
3175	0,263	542,5	2060
3125	0,214	427,3	1996
3075	0,215	409,8	1908
3025	0,231	415,2	1794
2975	0,203	360,1	1771
2925	0,207	361,2	1743
2875	0,142	241,1	1697
2825	0,104	161,4	1552
2775	0,035	46,1	1326
2725	0,004	5,7	1300
Gesamt	2,564	4490,4	1751

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

4.3. Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2018 – 30.09.2019) 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 4. Zum Zeitpunkt der Herbstbegehung waren nur bei Schacht 1 und 2 Rücklagen vorhanden. Bei Schacht 3 wurde wie in den Vorjahren mit einem Hilfspegel (PS3) die Ablation bestimmt. Die korrigierten Wasserwerte sind für die Jahresbilanz von 01.10.2018 bis 30.09.2019 gültig.

Schachtnummer	Tiefe $[m]$	Dichte $[kg/m^3]$	Wasserwert $[mm]$	korr. Wasserwert $[mm]$
1	1,30	612	796	795
2	1,34	583	781	781
3	-	-	-	-1152

Tabelle 6: Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert bzw. korrigierter Wasserwert der Herbstschächte. Bei Schacht 3 entspricht der Wasserwert der Ablation am Pegel.

Pegelnummer	Wasserwert $[mm]$	Pegelnummer	Wasserwert $[mm]$
1	-3078	11	-2187
2	-1863	13	-2142
3	-828	15	-2502
4	-2412	16	-1728
5	-1647	17	-1944
6	-1917	19	-2277
8	-2016	Schacht 3	-1152
10	-612		

Tabelle 7: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2018–30.09.2019).

Zusätzlich werden im Rahmen der Herbstbegehung Sondierungen durchgeführt, um die Verteilung der Altschneedecke zu bestimmen. Mit Hilfe von Fotos, Satellitenbildern, den Sondie-

rungen und den einzelnen Wasserwerten, wird eine Karte (Abb. 8) mit Isolinien des Wasserwertes erstellt und die Jahresbilanz berechnet. Das Gebiet der Rücklage (Blau) 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 8 sind die Werte der Jahresbilanz zu entnehmen. 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 30.09.2019, die Gletschergrenze von 2018 sowie die Punkte der Sondierungen und Schächte im Herbst 2019 sind in Abbildung 8 grafisch dargestellt. In Abbildung 7 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -1568,3 \cdot 10^3 \; m^3$$
$$b = -611 \; mm$$

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

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

Für die Sommerbilanz ergeben sich daher folgende Werte:

$$B_{so} = -6058,7 \cdot 10^3 \; m^3$$
$$b_{so} = -2362 \; mm$$

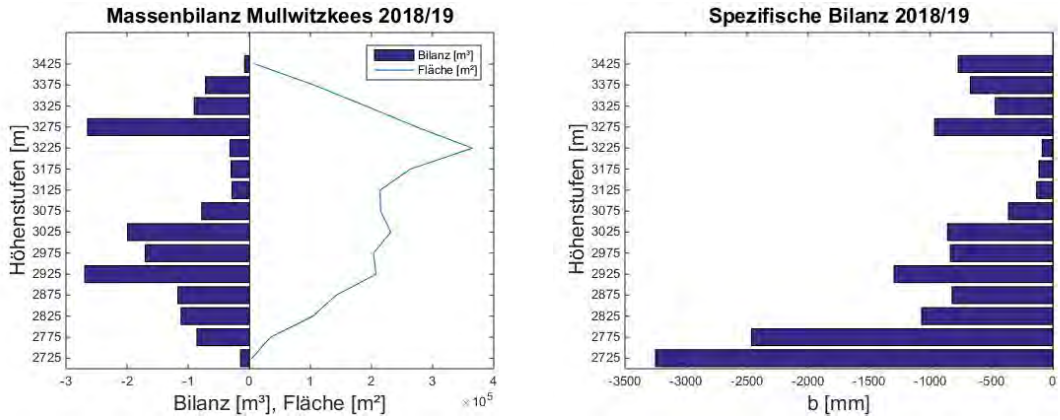

Abbildung 7: Nettobilanz [$10^5\ m^3$] und Fläche [$10^5\ m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm\ ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für das hydrologische Jahr 2018/19 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3\ m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,01	-7,6	-774
3375	0,106	-71,5	-675
3325	0,191	-89,9	-471
3275	0,274	-264,7	-966
3225	0,365	-31,7	-87
3175	0,263	-29,8	-113
3125	0,214	-28,3	-132
3075	0,215	-77,7	-362
3025	0,231	-199,1	-861
2975	0,203	-170,3	-838
2925	0,207	-269,2	-1299
2875	0,142	-116,9	-823
2825	0,104	-111,6	-1073
2775	0,035	-85,7	-2464
2725	0,004	-14,3	-3250
Gesamt	2,564	-1568,3	-611

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

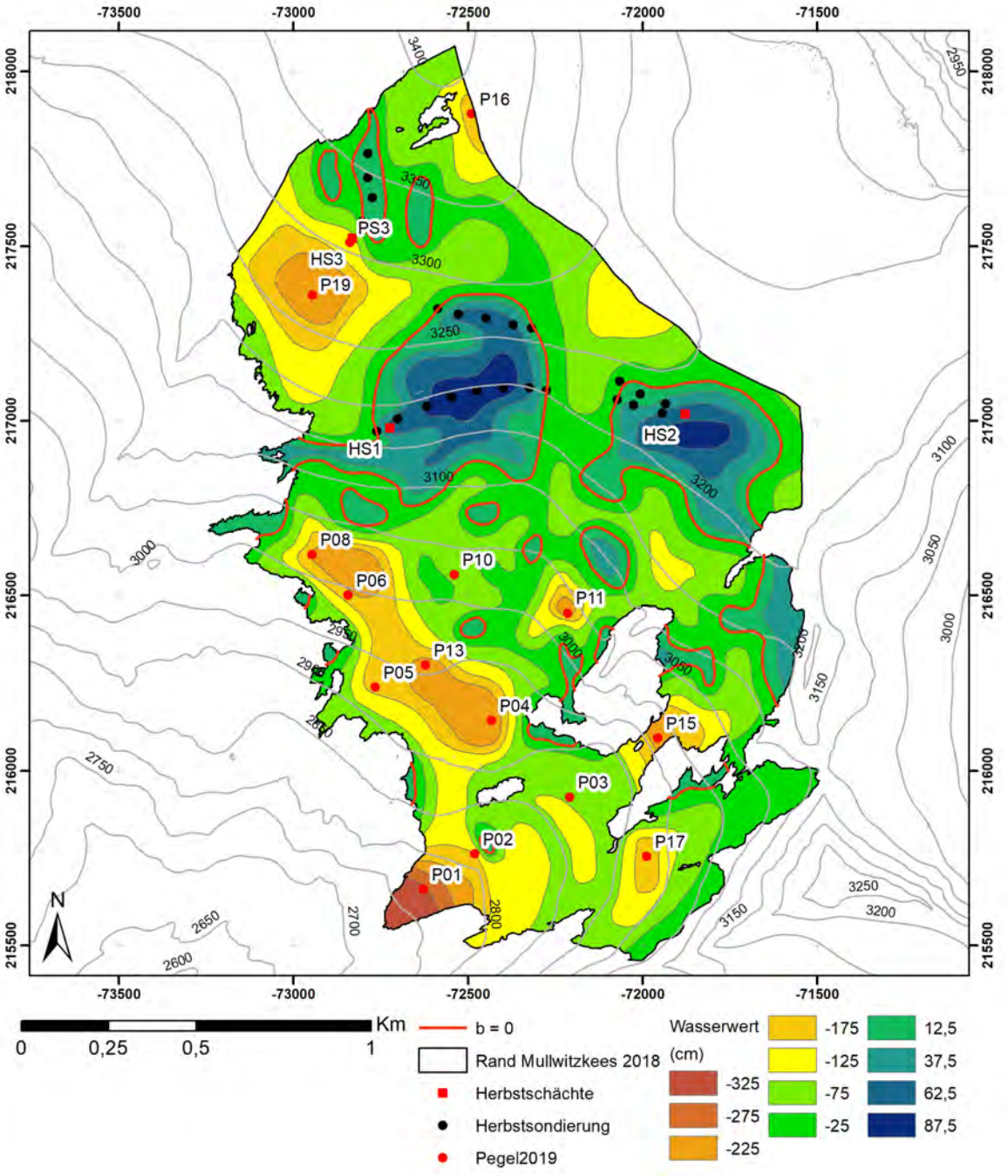

Abbildung 8: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2019 und für die Gletschergrenze 2018, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte im Herbst 2019.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst. Der Winter 2018/19 brachte am Mullwitzkees die bisher größten Neuschneemengen seit Beginn der Messungen. So lagen zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung am 01. Mai ca. $6\ m$ Schnee im Bereich des Schachtes 1. Auch nach der Frühjahrsbegehung ereigneten sich mehrere Neuschneefälle wodurch die Schneehöhen am Gletscher auch Ende Mai noch in etwa im Bereich der Frühjahrsbegehung lagen. Der überdurchschnittlich warme Juni führte zu einer raschen Abnahme der Schneehöhen. Anfang Juli war das Mullwitzkees aber noch zur Gänze schneebedeckt. Die stark windbeeinflusste Verteilung der Schneedeckte führte zu verringerter Ablation in tieferen Lagen, gleichzeitig aber auch zu den bisher größten Schmelzbeträgen in den höchstgelegenen Gletscherbereichen. Dadurch lag in diesem Jahr auch die Höhe der Gleichgewichtslinie erneut über Gipfelniveau. Mit Neuschneefällen Mitte August und Anfang September wurde die Eisablation jeweils für mehrere Tage deutlich verringert. Die Ablationsperiode endete mit Neuschnee am 23.09.2019. Das Rücklagenmuster zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung ist am Sentinel Satellitenbild vom 21.09.2019 zu sehen (Abb: 9). Insgesamt liegt der Massenhaushalt 2018/19 am Mullwitzkees deutlich unter dem Durchschnitt seit Beginn der Messungen 2006/07. Im Vergleich zum Vorjahr war der Massenverlust am Mullwitzkees nur etwa halb so hoch, bei ähnlich negativer Sommerbilanz war somit die bisher positivste Winterbilanz entscheidend.

Die fortschreitende Ausdünnung des Eises bei diesem ohnehin gering-mächtigen Gletscher lässt immer neue Felsinseln entstehen bzw. werden diese von Jahr zu Jahr größer, wie auch das aktuelle Orthofoto von 2018 zeigt, welches als Grundlage zur Neukartierung der Gletschergrenze verwendet wurde (Abb: 4). Der orographisch linke Zufluss zur Gletscherzunge (östl. der Glexenköpfe) ist mittlerweile nahezu abgerissen. Bei der Neuinstallation von Pegel 15 wurde bereits bei einer Bohrtiefe von $4,75\ m$ das Felsbett erreicht.

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
S_c	0,570			km^2
B_c	192,1			$10^3\ m^3$
b_c	337			mm
S_a	1,995			km^2
B_a	-1760,4			$10^3\ m^3$
b_a	-883			mm
S	2,565	2,565	2,565	km^2
B	-1568,3	4490,4	-6058,7	$10^3\ m^3$
b	-611	1751	-2362	mm
S_c/S	0,222			
ELA	$> GN$			m

Tabelle 9: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2018/19; $> GN$: über Gipfelniveau.

	S_c	B_c	b_c	S_a	B_a	b_a	S	B	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
2018/19	0,570	0,192	337	1,995	-1,760	-883	2,565	-1,568	-611	-2362	1751	$> GN$	0,222

Tabelle 10: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz von 2006 bis 2019 (Stocker-Waldhuber et al., 2016); $> GN$: über Gipfelniveau.

6. MitarbeiterInnen

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von A. Jestl, B. Seiser, A. Gschwentner, K. Helfricht, A. Janicke, F. Mader, C. Oberhauser und M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht, sowie die Fotos falls nicht anders angegeben, stammen von M. Stocker-Waldhuber.

7. Ausblick

Eine zusammenfassende wissenschaftliche Publikation der Massenhaushalte seit 2006/07 am Mullwitzkees und Hallstätter Gletscher in der Zeitschrift eco.mont ist in Planung.

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

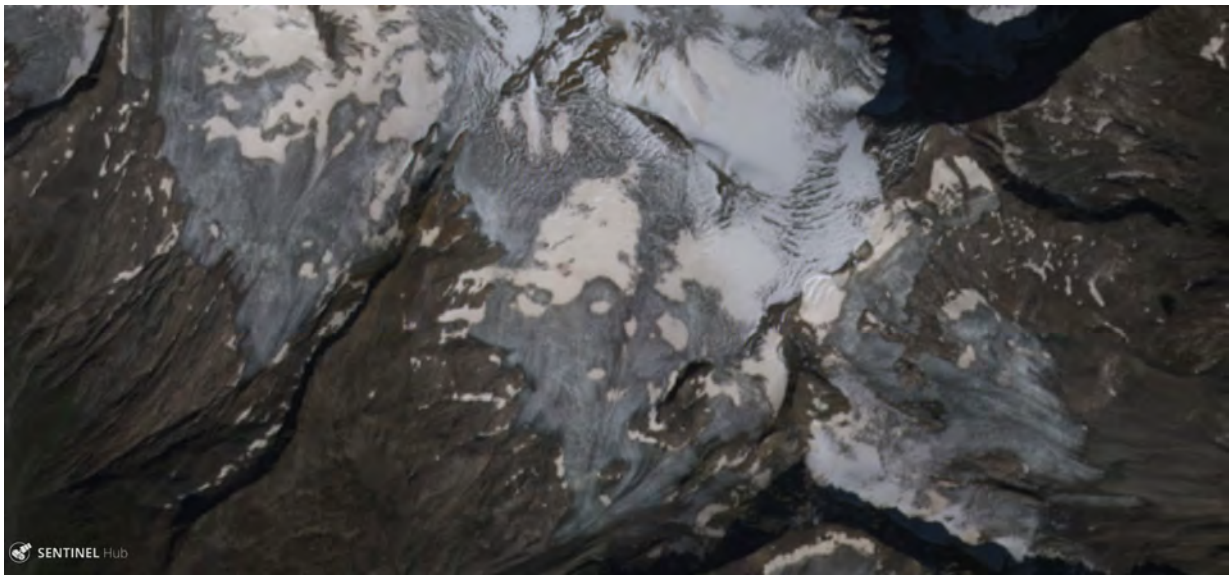

Abbildung 9: Sentinel Satellitenbild vom 21.09.2019 (Quelle: Sentinel Playground, Sinergise Ltd.

Abbildung 10: Blick von der Kristallwand Richtung Mullwitzkees und Großvenediger am 02.05.2019 (Foto: K. Helfricht).

Abbildung 11: Arbeiten im Frühjahrsschacht 1 am 02.05.2019 (Foto: B. Seiser).

Abbildung 12: Schneehöhe bis Querverstrebung am Totalisator am 30.05.2019.

Abbildung 13: Mullwitzkees am 30.06.2019 noch zur Gänze schneebedeckt.

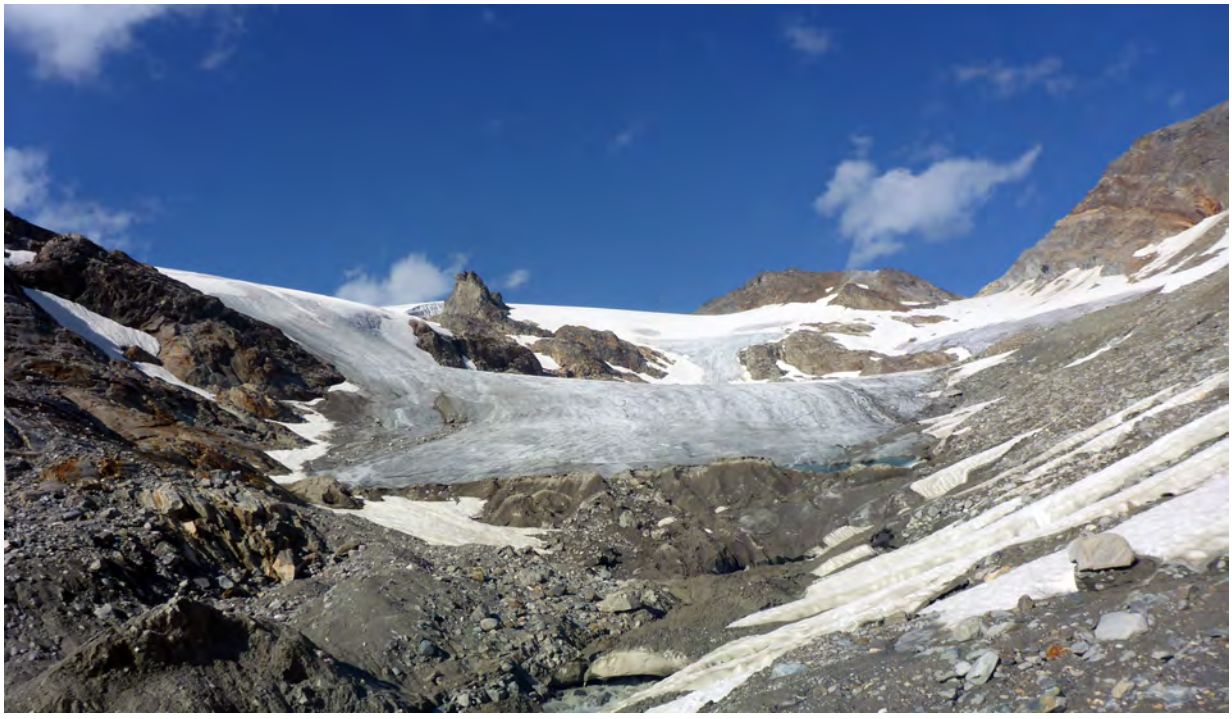

Abbildung 14: Gletscherzunge am 04.08.2019.

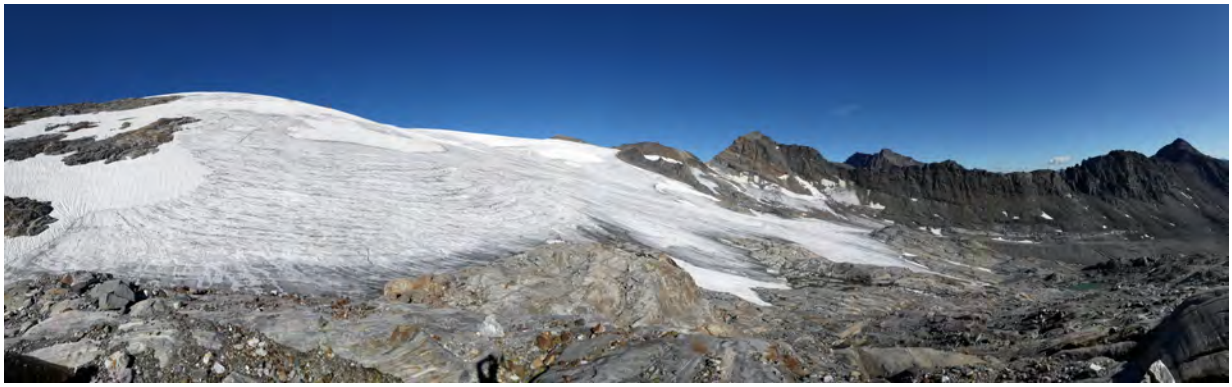

Abbildung 15: Ausaperungsmuster am 03.09.2019

Abbildung 16: Blick vom Hohen Zaun zu den kreis- und trichterförmigen Senken auf der Zunge des Schlatenkeeses am 04.09.2019.

Abbildung 17: Blick vom Rainerhorn Richtung Mullwitzkees am 21.09.2019

Abbildung 18: Hilfspegel bei Schachtposition 3 am 21.09.2019.