

ÄUSSERES MULLWITZKEES

MASSENHAUSHALT 2021/2022



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

DR. M. STOCKER-WALDHUBER, PD DR. A. FISCHER
28.11.2022



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-Waldhuber¹
martin.stocker-waldhuber@oeaw.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)512 507 49499

- 1 Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung
Österreichische Akademie der Wissenschaften
Innrain 25, 3.OG, 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	10
4.1. Definitionen	10
4.2. Winterbilanz	12
4.3. Jahresbilanz	15
5. Zusammenfassung der Ergebnisse	19
6. MitarbeiterInnen	21
A. Anhang	22

Äußeres Mullwitzkees, Massenhaushalt 2021/2022

Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung über den Massenhaushalt des Mullwitzkees im hydrologischen Jahr 2021/22. 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 Jahre 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 die Höhe der Gletscherzunge auf 2730 m , allerdings bezogen auf das digitale Höhenmodell von 2008. Für die Gletscher der Südseite der Venedigergruppe stehen keine aktuelleren Höhenmodelle zu Verfügung. 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. Die geringen Eisdicken bestätigen sich aktuell durch die Ausaperung neuer Felsinseln im Sommer 2022 im Zentralbereich des Gletschers. 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.

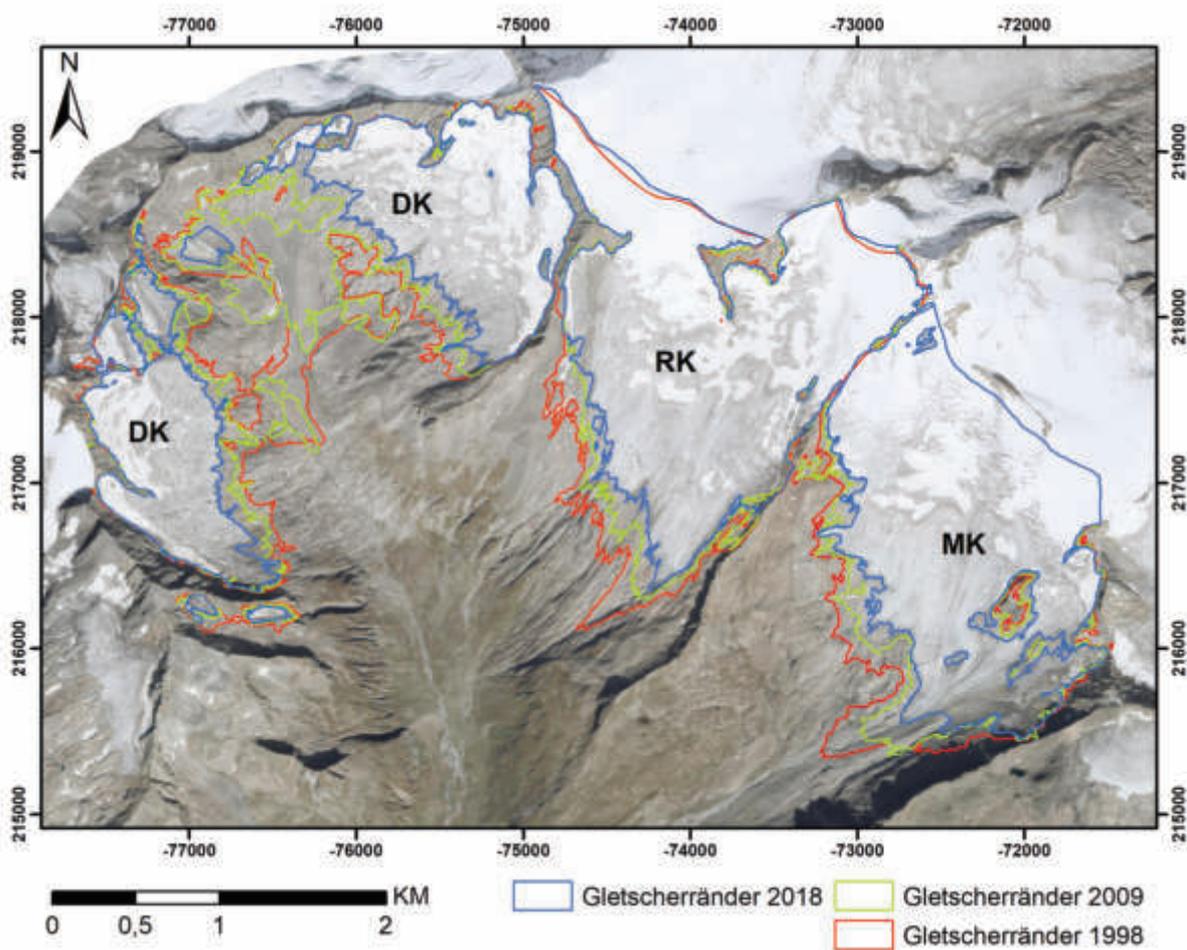


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, Koordinatensystem: MGI Austria GK Central, Orthofoto 2018 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at). DK: Dorfer Kees, RK: Rainer Kees (Inneres Mullwitzkees), MK: Mullwitzkees (Äußeres Mullwitzkees, die Zunge wird auch als Zettalunitzkees bezeichnet.)

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: Frühjahrsschacht 1 (links, Foto A. Gschwentner) und Frühjahrsschacht 2 (rechts) mit ausgeprägter Saharastaubschicht am 28.04.2022. Ende August 2022 waren die Rücklagen bereits vollständig abgeschmolzen.

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1. Pegelablesungen

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2022 regelmäßig abgelesen. Aufgrund der überdurchschnittlich hohen Ablation im Sommer 2022 wurden nahezu alle Pegel neu gebohrt, teils aufgrund der Ausaperung versetzt bzw. aufgelassen, sowie das Pegelnetz im ehemaligen Akkumulationsgebiet ergänzt. Die Pegelbohrungen fanden am 28.07.2022 sowie am 24. und 25. August statt. Am 24.08.2022 wurden die zusätzlichen Pegel Nr. 12 im Zentralbereich des Gletschers oberhalb neuer Felsinseln, und Pegel Nr. 14 am Plateau von Schachtposition 2 Richtung Hoher Zaun, neu installiert. Bereits zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung (27-29.04.2022) waren einige Pegel sichtbar. Die Ablesungen wurden am 07.07.2022, 28.07.2022, 24-25.08.2022 und am 21.09.2022 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 27-29. April 2022 durchgeführt, wobei an 27. April die Anreise zur Johannishütte erfolgte. Im Rahmen der Begehung wurden 4 Schneeschächte gegraben, sowie Sondierungen der Schneehöhen am Gletscher durchgeführt. Generell lag die Schneebedeckung zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung deutlich unter dem Durchschnitt der vergangenen Jahre. Das Wetter an beiden Tagen (28-29.04.): Nach einer Kaltfront mit Neuschnee am 26-27. April wolkenlos bis gering bewölkt. Teils stürmischer Wind am 28. April vormittags.

3.3. Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 21. September 2022 statt. Aufgrund der geringmächtigen Winterschneedecke und der überdurchschnittlichen Ablation im Sommer 2022 waren bereits Ende August nahezu keine Rücklagen mehr vorhanden, sodass im Rahmen der Herbstbegehung keine Schneeschächte gegraben bzw. Sondierungen durchgeführt wurden. Zu diesem Zeitpunkt lagen jedoch bereits bis zu ca. 50 cm Neuschnee in den Hochlagen bzw. durchschnittlich ca. 20 cm Neuschnee am Gletscher. Die Neuschneehöhen wurden an den Pegelpositionen aufgenommen. Das Wetter zum Zeitpunkt der Herbstbegehung: An beiden Tagen gering bewölkt, jedoch sehr stürmischer und kalter Nordwind.

3.4. Wetterstation und Totalisator

Wichtige Parameter, die das Haushaltsjahr des Gletschers bestimmen sind unter anderem die Temperatur und der Niederschlag. Diese werden in der Wetterhütte und am Totalisator in der Nähe des Defreggerhauses gemessen (für den Niederschlag am Totalisator s. Tab. 1). Im August 2020 wurde die Wetterhütte am Defreggerhaus zur vollautomatischen Wetterstation ausgebaut und mit zusätzlichen Instrumenten ausgestattet, sowie 2021 zur Energiebilanzstation mit Strahlungsmessung erweitert (Abb. 21). Die Daten werden über das Mobilfunknetz übertragen und sind über die Datenbank „Wiski“ des Landes Tirol verfügbar (Abb. 3). Ausbau und Erweiterung der Wetterstation wurde von der Dr. Anton Oelzelt-Newin'schen Stiftung der ÖAW finanziert. Der zusätzliche Temperaturfühler (Hobo) in der Wetterhütte wurde am 21.09.2022 ausgetauscht (neu: SN.: 20162605).

Datum	Messung [<i>cm</i>]					Bemerkung	Niederschlag [<i>mm</i>]
	1	2	3	4	5		
21.09.2021	66,7	66,7	66,8	66,8	66,8	neu befüllt	0
04.01.2022	56,3	56,3	56,4	56,4	56,4		338
27.03.2022	49,2	49,2	49,3	49,3	49,3		570
29.04.2022	47,3	47,3	47,4	47,4	47,4		631
04.06.2022	42,3	42,3	42,4	42,4	42,4		794
07.07.2022	34,7	34,7	34,8	34,8	34,8		1043
28.07.2022	31,9	31,9	32,0	32,0	32,0		1134
25.08.2022	27,2	27,2	27,3	27,3	27,3		1288
21.09.2022	21,7	21,7	21,8	21,8	21,8		1462

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

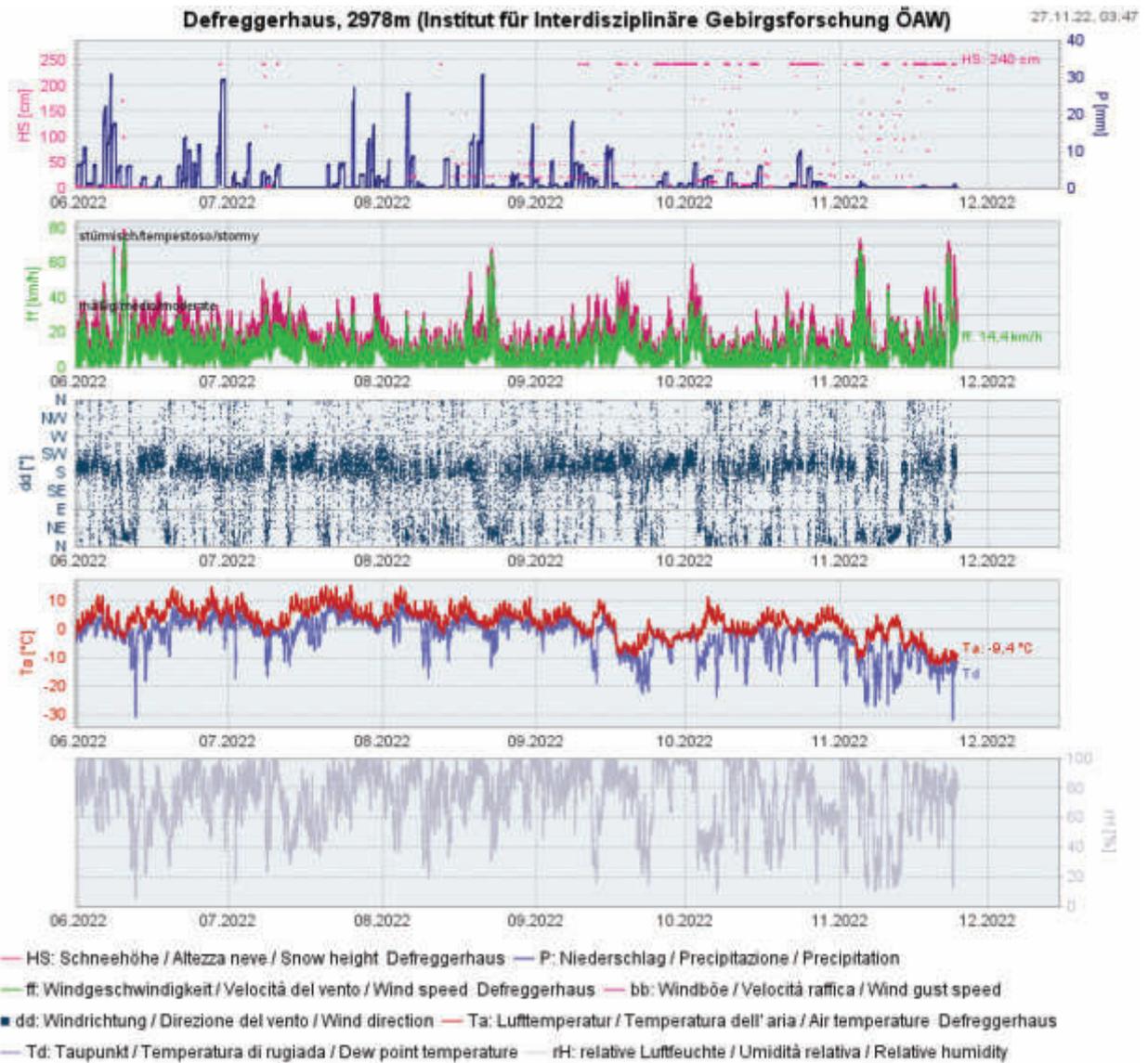


Abbildung 3: Ausschnitt Sommer 2022 der über die Datenbank „Wiski“ des Landes Tirol veröffentlichen Parameter der Wetterstation (www.lawis.at/station).

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.

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

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

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

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

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

Tabelle 3: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.

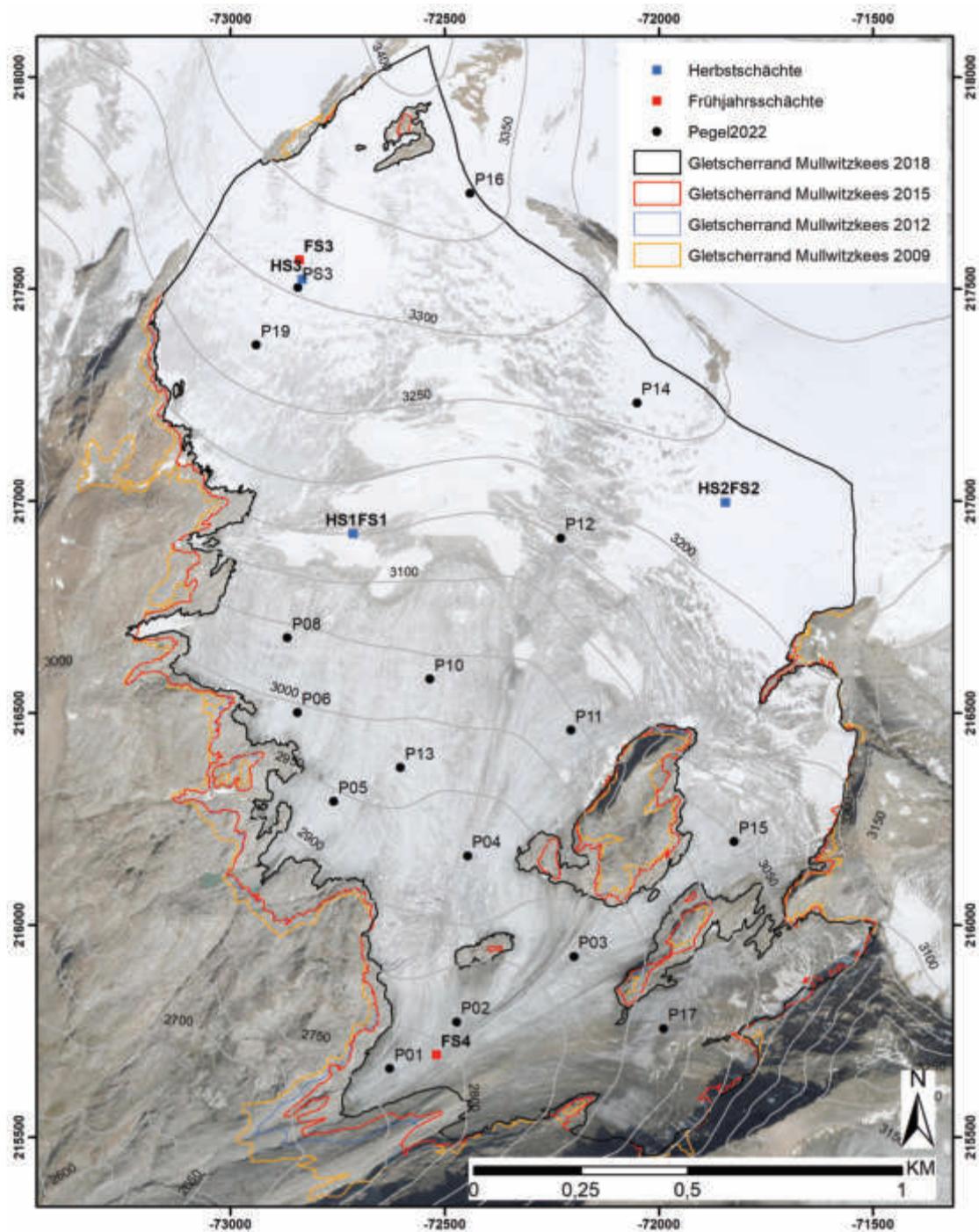


Abbildung 4: Mullwitzkees mit Gletschergrenzen von 2009, 2012, 2015 und 2018; Lage der Pegel, der Frühjahrs- und Herbstschächte 2022. Hintergrund: Orthofoto 2018, Datenquelle: Land Tirol – data.tirol.gv.at.

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 01.10.2021 und 30.04.2022 gültig. Der Wasserwert des Neuschnees vom September 2021 wurde an den jeweiligen Frühjahrsschächten abgezogen.

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1	4,58	427	1956	1915
2	3,26	399	1301	1261
3	1,20	307	368	330
4	1,26	380	479	441

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

Aus Tabelle 5 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2021 bis 30.04.2022, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 2093,4 \cdot 10^3 m^3$ ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2021/22 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von $b_{wi} = 816 mm$. In Abbildung 5 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.04.2022 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 2021/22 sind in Abbildung 6 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 2093,4 \cdot 10^3 m^3$$
$$b_{wi} = 816 mm$$

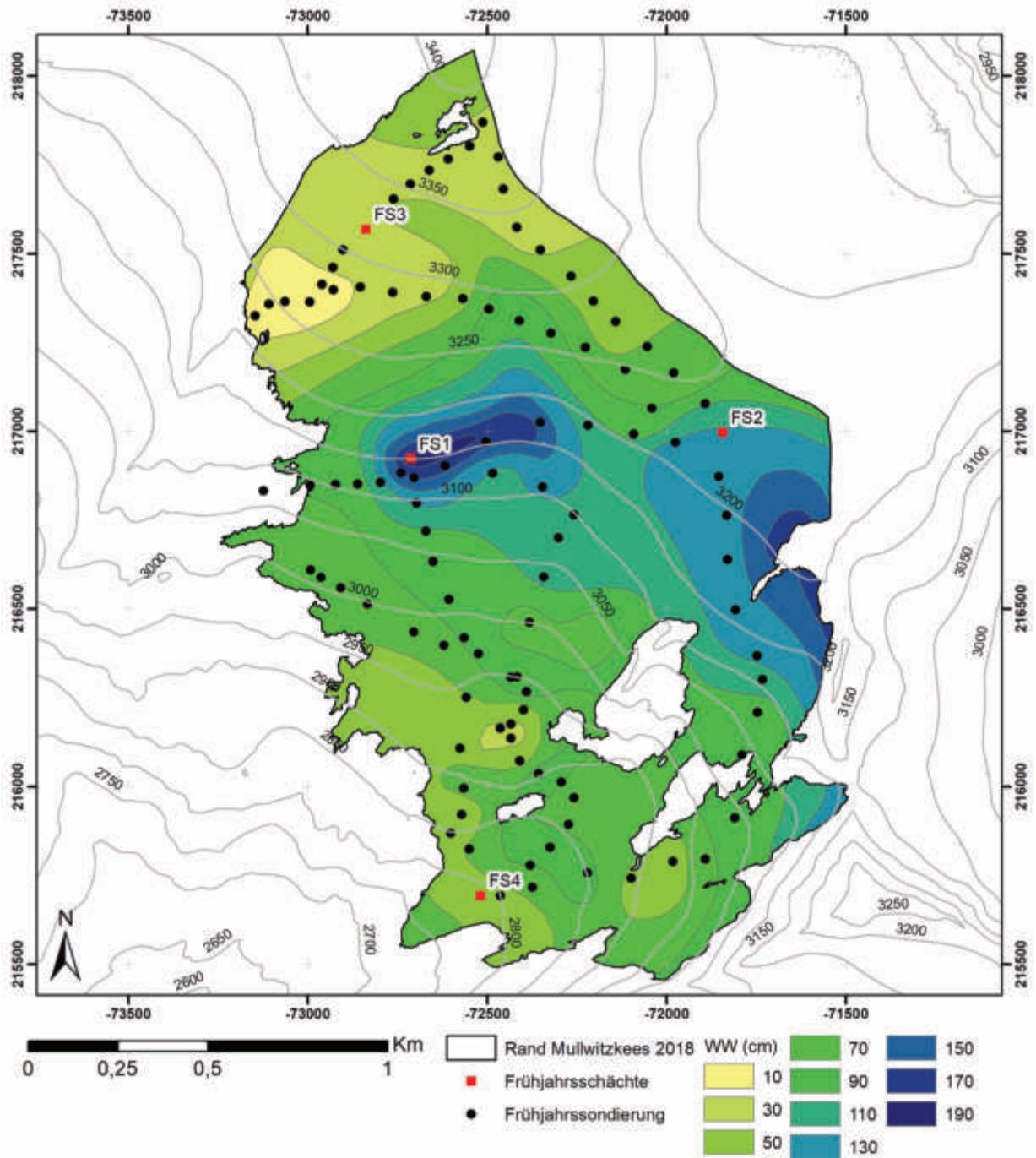


Abbildung 5: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 30.04.2022 und für die Gletschergrenze 2018, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

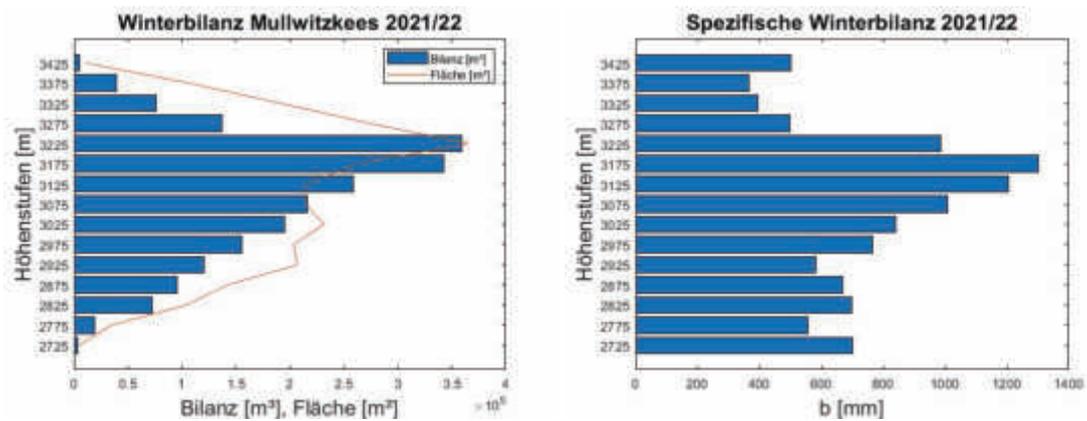


Abbildung 6: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2021/22 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,010	4,9	500
3375	0,106	38,8	366
3325	0,191	75,6	396
3275	0,274	136,7	499
3225	0,365	359,2	985
3175	0,263	342,8	1302
3125	0,214	258,1	1205
3075	0,215	216,5	1008
3025	0,231	194,5	841
2975	0,203	155,6	765
2925	0,207	120,6	582
2875	0,142	95,1	670
2825	0,104	72,6	698
2775	0,035	19,3	555
2725	0,004	3,1	700
Gesamt	2,564	2093,4	816

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

4.3. Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2021 – 30.09.2022) 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 der Schachttiefe und der mittleren Schneedichte des Schachtes. Am Ende der Ablationsperiode 2022 waren nahezu keine Schneerücklagen des Vorwinters am Gletscher vorhanden. Daher wurden keine Schneeschächte gegraben bzw. auch keine Sondierungen durchgeführt. Direkt bei Herbstschacht 3 wurde bereits wie in den Vorjahren die Ablation mit dem Hilfspegel (PS3) bestimmt. An den Schächten 1 und 2 wurde als korrigierter Wasserwert der Mittelwert der jeweiligen Bilanzfläche aus Abbildung 8 eingetragen und stellt somit nur eine Näherung dar (Tab. 6).

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1	-	-	-	-1750
2	-	-	-	-750
3	-	-	-	-1279

Tabelle 6: Korrigierte Wasserwerte der Herbstschächte. Wert der Bilanzfläche aus Abb. 8 bei Schacht 1 und 2. Ablation am Pegel bei Schacht 3.

Pegelnummer	Wasserwert [mm]	Pegelnummer	Wasserwert [mm]
1*	<-6000*	12	-2246
2	-4533	13	-3687
3	-3485	14	-1752
4	-4295	15	-3836
5	-4073	16	-1416
6	-3389	17	-3872
8	-3659	19	-3458
10	-2516	PS3	-1279
11	-3861		

Tabelle 7: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2021–30.09.2022); * Pegel 1 eisfrei. Ablation >6m Eis (Abb.22).

Mit Hilfe von Fotos, Satellitenbildern und den einzelnen Wasserwerten der Pegel, wird eine Karte (Abb. 8) mit Isolinien des Wasserwertes erstellt und die Jahresbilanz berechnet. Das Gebiet der Rücklage bzw. der geringeren Ablation (Dunkelgrün-Blau) ist bestimmt durch die Schneeverfrachtung während des Jahres. Da der Wind hauptsächlich, besonders im Winter, aus Nord bzw. Nord-West weht, werden die größten Schneehöhen in den Mulden bzw. im Lee der überströmten Kanten gefunden. Die rote Linie (Gleichgewichtslinie) markiert den Übergang zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet bzw. zeigt diese die kleinen Rücklagenreste im Sommer 2022. Das Maximum der Ablation wurde am Zungenende des Gletschers gefunden. Aber selbst in den hochgelegenen Bereichen betrug die Ablation bis zu 2 m Eis wie beispielsweise am neuen Pegel 14 (Tab. 7). 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 30.09.2022, die Gletschergrenze von 2018 sowie die Lage der Pegel und Schächte im Herbst 2022 sind in Abbildung 8 grafisch dargestellt. In Abbildung 7 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -6282,4 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -2449 \text{ mm}$$

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:

$$B_{so} = -8375,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -3265 \text{ mm}$$

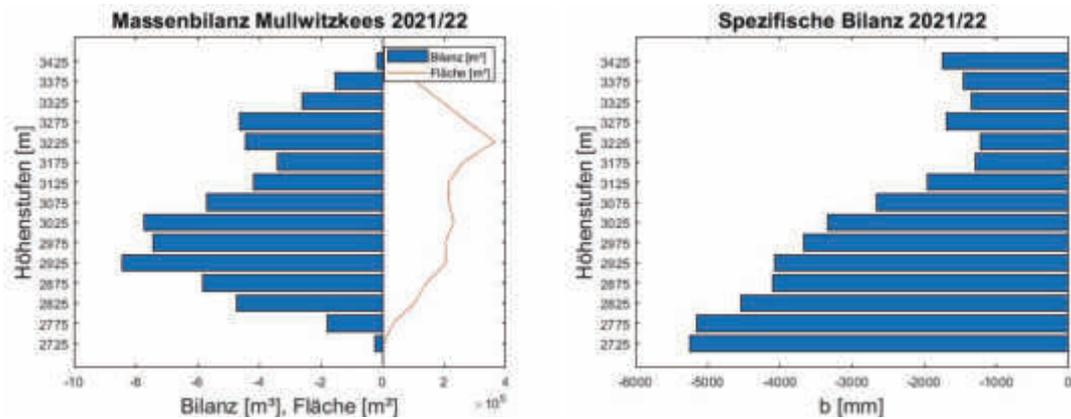


Abbildung 7: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für das hydrologische Jahr 2021/22 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,010	-17,2	-1750
3375	0,106	-154,4	-1457
3325	0,191	-258,2	-1352
3275	0,274	-463,1	-1691
3225	0,365	-444,2	-1218
3175	0,263	-338,8	-1287
3125	0,214	-418,5	-1955
3075	0,215	-570,7	-2657
3025	0,231	-771,2	-3333
2975	0,203	-745,0	-3664
2925	0,207	-844,9	-4076
2875	0,142	-581,3	-4092
2825	0,104	-472,5	-4543
2775	0,035	-179,3	-5155
2725	0,004	-23,1	-5250
Gesamt	2,564	-6282,4	-2449

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

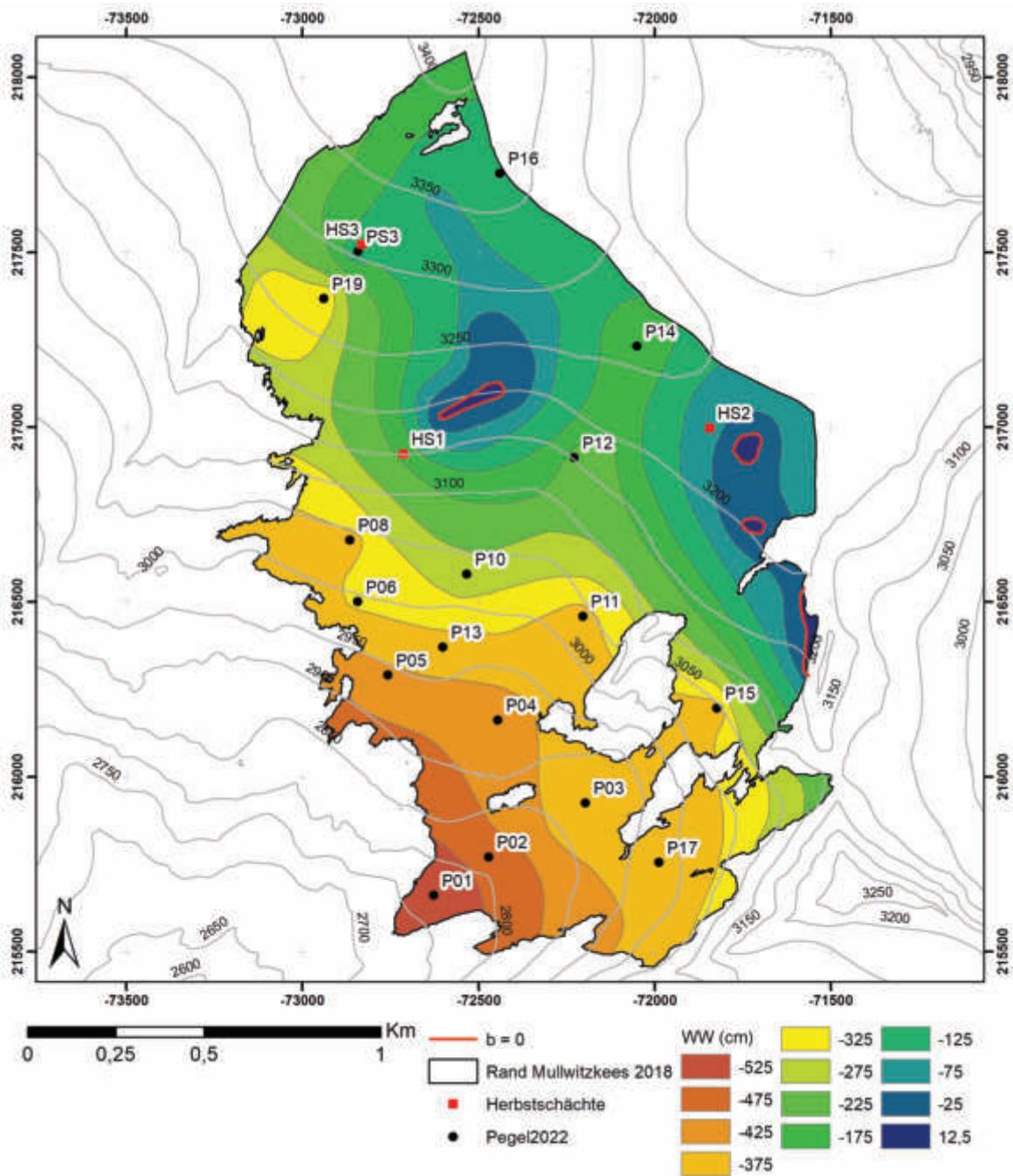


Abbildung 8: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2022 und für die Gletschergrenze 2018, sowie die Positionen der Pegel und Schächte im Herbst 2022.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst. Das Bilanzjahr 2021/22 begann mit einer deutlich unterdurchschnittlichen Schneebedeckung, welche auch bis zum Ende der Winterbilanz nicht mehr ausgeglichen wurde. Der Winter 2021/22 reiht sich somit zu den drei schneeärmsten Wintern der bisher 16-jährigen Messreihe. Mitte März ereigneten sich mehrere starke Saharastaubereignisse (Abb. 2). Die Ablagerungsschicht wurde im April wieder eingeschneit, führte aber nach neuerlicher Ausaperung ca. Mitte-Ende Mai, zusammen mit der überdurchschnittlich warmen Witterung, zu einer stark beschleunigten Schneeschmelze im Frühsommer. Der Ausaperungsbeginn auf der Gletscherzunge wurde bereits Anfang Juni, ca. einen Monat vor Beginn der durchschnittlichen Ausaperung verzeichnet. Bis Ende Juli war der Gletscher bereits großflächig schneefrei. Das Sentinel Satellitenbild vom 11.08.2022 (Abb. 10) zeigt eine bereits deutlich geringere Ausdehnung der Schneerücklagen im Vergleich zum Ende der Ablationsperiode im Vorjahr. Bis Ende August waren auch diese Rücklagen nahezu vollständig abgeschmolzen. Nur in sehr kleinen Bereiche konnten Winterschneereste den Sommer bis zum Ende der Ablationsperiode überdauern. Schneefälle Ende August und in der ersten Septemberhälfte verringerten die Ablation großflächig, auf der Zunge setzte sich die Eisschmelze bis zum Ende der Ablationsperiode Ende September fort. In Summe zeigt der Massenhaushalt 2021/22 mit einer spezifischen Bilanz von $b = -2449 \text{ mm}$ den bisher negativsten Wert seit Beginn der Messungen im Jahr 2006 (Abb. 9). Im Vergleich entspricht dies dem ca. dreifachen bisherigen Mittelwert $\bar{b} = -816 \text{ mm}$ (2007-2021).

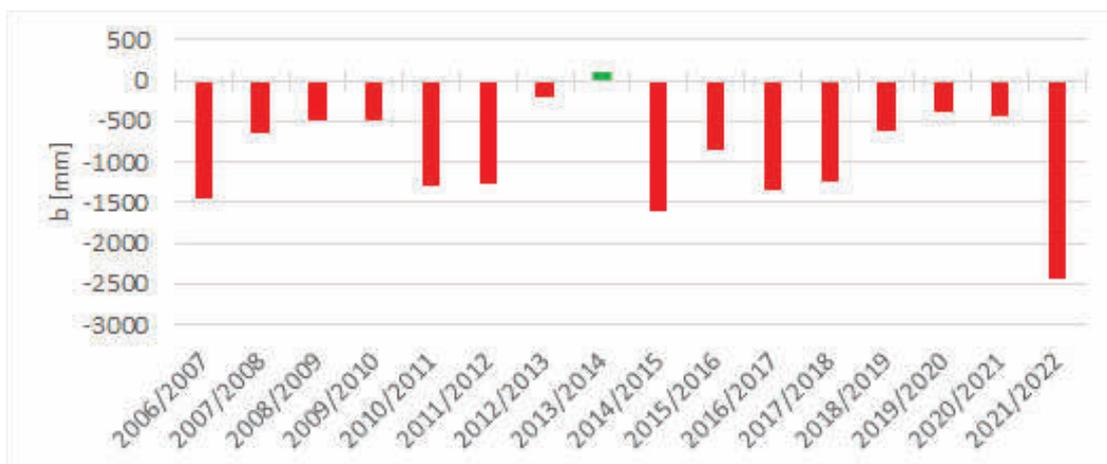


Abbildung 9: Jährliche spezifische Bilanz (b [mm]) am Mullwitzkees seit Beginn der Messungen im Jahr 2006/07.

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
S_c	0,017			km^2
B_c	2,1			$10^3 m^3$
b_c	125			mm
S_a	2,548			km^2
B_a	-6284,5			$10^3 m^3$
b_a	-2467			mm
S	2,565	2,565	2,565	km^2
B	-6282,4	2093,4	-8375,8	$10^3 m^3$
b	-2449	816	-3265	mm
S_c/S	0,007			
ELA	$> GN$			m

Tabelle 9: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2021/22; $> GN$: über Gipfelniveau.

	S_c km^2	B_c $10^6 m^3$	b_c mm	S_a km^2	B_a $10^6 m^3$	b_a mm	S km^2	B $10^6 m^3$	b mm	b_s mm	b_w mm	ELA m	S_c/S
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
2019/20	1,045	0,397	380	1,519	-1,406	-925	2,565	-1,009	-393	-1741	1348	3130	0,408
2020/21	1,021	0,374	367	1,544	-1,520	-984	2,565	-1,146	-447	-1755	1308	3122	0,398
2021/22	0,017	0,002	125	2,548	-6,285	-2467	2,565	-6,282	-2449	-3265	816	$> GN$	0,007

Tabelle 10: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz von 2006 bis 2022 (Stocker-Waldhuber et al., 2016); $> GN$: über Gipfelniveau.

6. MitarbeiterInnen

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von T. Wibmer-Waldhuber, G. Bertolotti, B. Seiser, A. Gschwentner, M. Kastner und M. Stocker-Waldhuber durchgeführt. Die Auswertung und der Bericht, sowie die Fotos falls nicht anders angegeben, stammen von M. Stocker-Waldhuber.

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 et seq.. doi:10.1594/PANGAEA.806662.

A. Anhang



Abbildung 10: Sentinel Satellitenbild vom 11.08.2022 (Quelle: Sentinel Playground, Sinergise Ltd).



Abbildung 11: Unterdurchschnittliche Schneebedeckung am 28.04.2022. Oberes Dorfertal mit Rainerhorn (rechts).



Abbildung 12: Mullwitzkees am 29.04.2022.



Abbildung 13: Ausaperungsbeginn an der Gletscherzunge am Mullwitzkees am 04.06.2022.



Abbildung 14: Blick von Pegel 3 Richtung Norden (Glexenköpfe) am 06.07.2022. Gletscherzufluss zur Zunge in der Bildmitte bereits 2021 vollständig abgerissen. Pegel 15 in diesem Bereich nach oben versetzt.



Abbildung 15: Abgerissener Zufluss, ehemals Bereich Pegel 15, am 25.08.2022.



Abbildung 16: Blick vom neuen Standort Pegel 15 zur Zunge am 25.08.2022.



Abbildung 17: Blick von Pegel 17 Richtung Westen am 25.08.2022.



Abbildung 18: Zunge Mullwitzkees (Zettalunitzkees) am 21.09.2022.



Abbildung 19: Blick von orographisch linker Seitenmoräne zur Zunge Mullwitzkees (Zettalunitzkees) am 21.09.2022.



Abbildung 20: Pegel PS3 und Neuschnee (bei Schachtposition 3) am 21.09.2022 (Foto: B. Seiser).



Abbildung 21: Automatische Wetterstation Defreggerhaus mit deutlich unterdurchschnittlicher Schneebedeckung am 27.03.2022 (Foto: A. Gschwentner).



Abbildung 22: Neue Felsinsel im Zentralbereich des Gletschers unterhalb Pegel 12 (links, Foto: G. Bertolotti). Pegel 1 am 18.07.2022, Bereich eisfrei bis Ende des Sommers (rechts).