

# ÄUSSERES MULLWITZKEES

MASSENHAUSHALT 2022/2023



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der  
Österreichischen Akademie der Wissenschaften

DR. M. STOCKER-WALDHUBER, PD DR. A. FISCHER  
01.12.2023



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<sup>1</sup>  
martin.stocker-waldhuber@oeaw.ac.at  
Tel.: +43(0)512 507 49457  
Fax.: +43(0)512 507 49499

PD Dr. Andrea Fischer<sup>1</sup>  
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

<b>1. Allgemeines</b>	<b>4</b>
<b>2. Methode</b>	<b>6</b>
<b>3. Durchgeführte Arbeiten</b>	<b>7</b>
3.1. Pegelablesungen . . . . .	7
3.2. Frühjahrsbegehung . . . . .	7
3.3. Herbstbegehung . . . . .	7
3.4. Wetterstation und Totalisator . . . . .	7
<b>4. Auswertung</b>	<b>10</b>
4.1. Definitionen . . . . .	10
4.2. Winterbilanz . . . . .	12
4.3. Jahresbilanz . . . . .	15
<b>5. Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>19</b>
<b>6. MitarbeiterInnen</b>	<b>21</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>22</b>

# **Äußeres Mullwitzkees, Massenhaushalt 2022/2023**

## **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 2022/23. 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 und 2022 (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 $km^2$	Fläche 2022: 2,35 $km^2$

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 2022 änderte sich die Höhe der Gletscherzunge auf 2750  $m$ , allerdings bezogen auf das digitale Höhenmodell von 2008. Für die Gletscher der Südseite der Venedigergruppe stehen keine aktuelleren Höhenmodelle zu Verfügung. Der Gletscher bedeckte im Jahr 2022 eine Fläche von 2,35  $km^2$ . 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 durch die Ausaperung immer neuer Felsinseln im Sommer 2022 und 2023 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 2022 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at) und den Gletschergrenzen der Inventare von 1998 und 2009 (Fischer et al., 2015) sowie 2018, bzw. 2022 am Mullwitzkees.

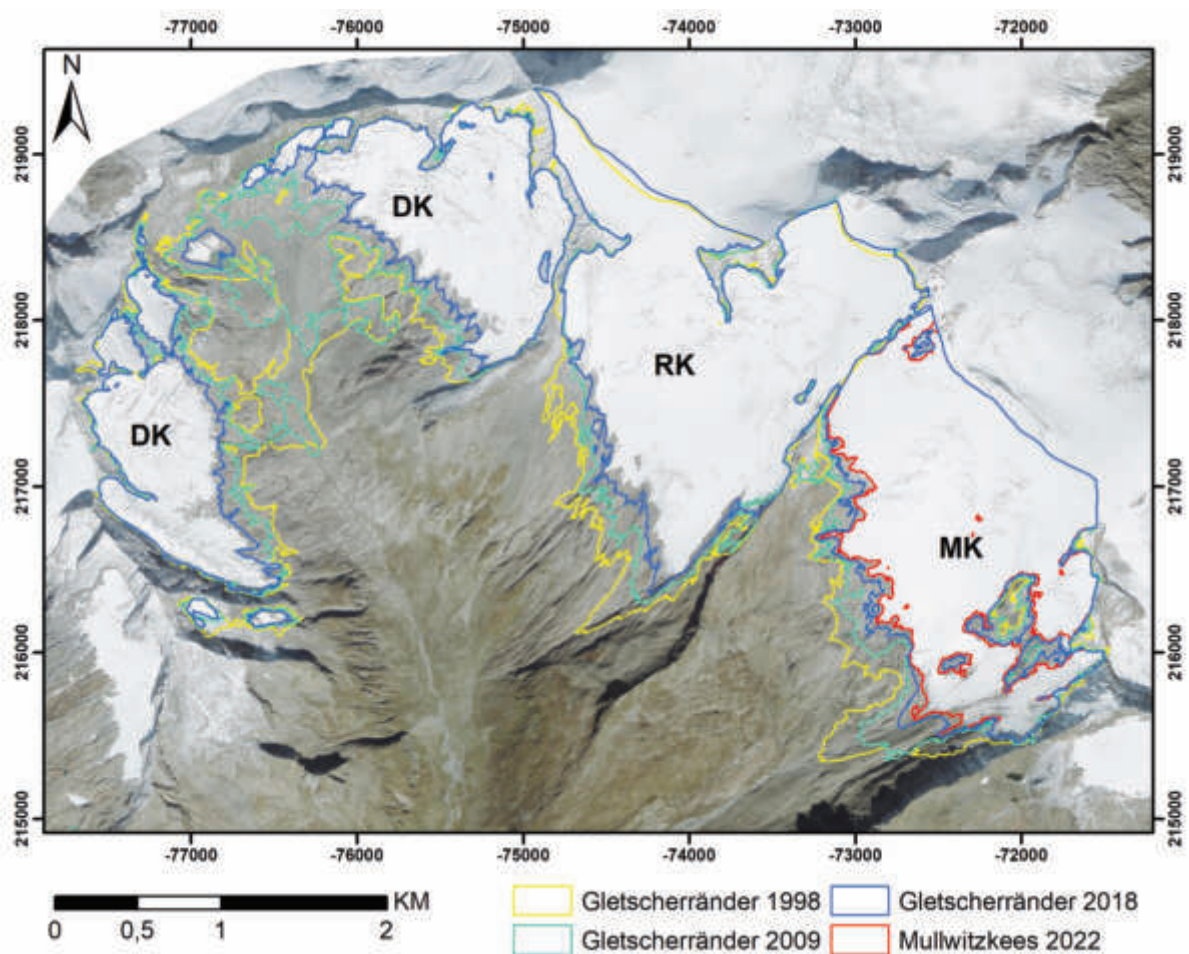


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, Koordinatensystem: MGI Austria GK Central, Orthofoto 2022 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at). DK: Dorfer Kees, RK: Rainer Kees (Inneres Mullwitzkees), MK: Mullwitzkees (Äußeres Mullwitzkees, die Zunge wird auch als Zettalunitzkees bezeichnet.).

## 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 3 (links) und Frühjahrsschacht 4 (rechts) am 27.04.2023 (Fotos: G. Bertolotti).

## **3. Durchgeführte Arbeiten**

### **3.1. Pegelablesungen**

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2023 regelmäßig abgelesen. Im Sommer 2023 musste keiner der Pegel neu gebohrt werden, allerdings wurden Pegel 6 aufgrund der fortschreitenden Ausaperung, und Pegel 17 aufgrund zunehmender Steinschlaggefahr, aufgelassen. Die Pegelablesungen fanden am 23.07.2023, 18.08.2023, im Rahmen der Herbstbegehung am 17-18.09.2023 und am 01.10.2023 statt.

### **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 27. April 2023 durchgeführt. Im Rahmen der Begehung wurden 2 Schneeschächte gegraben, sowie Sondierungen der Schneehöhen am Gletscher durchgeführt. Generell lag die Schneebedeckung Ende April deutlich unter dem Durchschnitt der vergangenen Jahre. Das Wetter zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung: Eine schwache Kaltfront brachte ca. 10 *cm* Neuschnee in der Nacht zum 27. April. Leichter Schneefall und starker Wind am Vormittag, zunehmend sonnig am Nachmittag.

### **3.3. Herbstbegehung**

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 17-18. September 2023 statt. Aufgrund der geringmächtigen Winterschneedecke waren bis Ende September keine Rücklagen mehr vorhanden, sodass im Rahmen der Herbstbegehung keine Schneeschächte gegraben bzw. Sondierungen durchgeführt wurden. Das Wetter zum Zeitpunkt der Herbstbegehung: Südanströmung im Vorfeld einer Kaltfront mit teils starker Bewölkung.

### **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. 13). Die Daten werden über das Mobilfunknetz übertragen und sind über die Datenbank „Wiski“ des Landes Tirol verfügbar (Abb. 3). Der zusätzliche Temperaturfühler (Hobo) in der Wetterhütte wurde am 17.09.2023 ausgetauscht (neu: SN.: 21828508). Die Jahresmitteltemperatur (01.10.2022-30.09.2023) betrug  $-2,1^{\circ}\text{C}$  an der Wetterstation (Min:  $-22,5^{\circ}\text{C}$ ; Max:  $15,9^{\circ}\text{C}$ ).

	Messung [ <i>cm</i> ]					Bemerkung	Niederschlag [ <i>mm</i> ]
Datum	1	2	3	4	5		
21.09.2022	66,9	66,9	67,0	67,0	67,0	neu befüllt	0
27.04.2023	46,7	46,7	46,8	46,8	46,8		656
30.05.2023	41,3	41,3	41,4	41,4	41,4		832
02.07.2023	38,9	38,9	39,0	39,0	39,0		911
23.07.2023	34,8	34,8	34,9	34,9	34,9		1045
18.08.2023	29,6	29,6	29,7	29,7	29,7		1216
17.09.2023	25,3	25,3	25,4	25,4	25,4		1356
17.09.2023	67,1	67,1	67,2	67,2	67,2	neu befüllt	1356
01.10.2023	66,2	66,2	66,3	66,3	66,3		1385

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



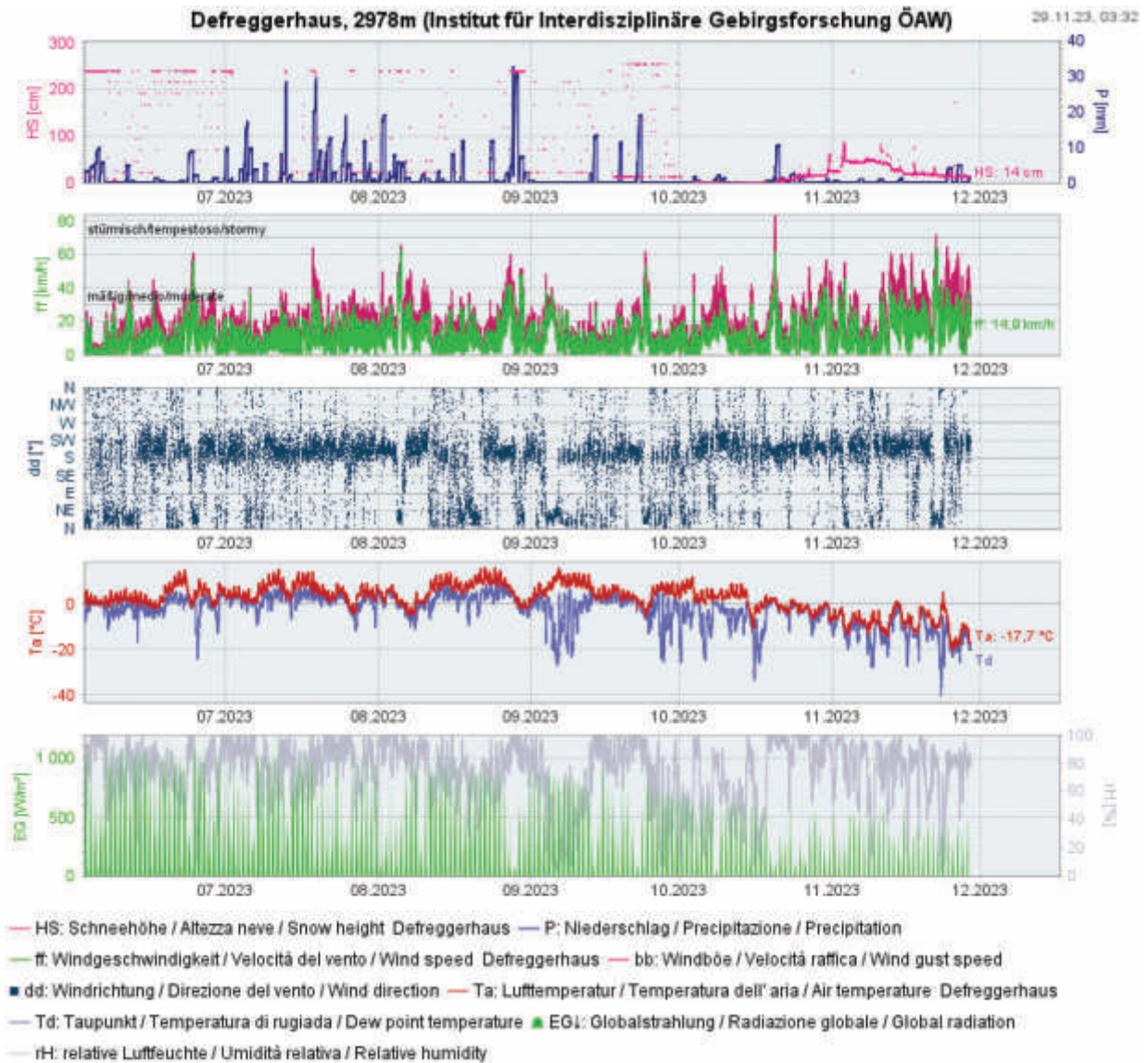


Abbildung 3: Ausschnitt Sommer 2023 der über die Datenbank „Wiski“ des Landes Tirol veröffentlichen Parameter der Wetterstation ([www.lawis.at/station](http://www.lawis.at/station)).

## 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.

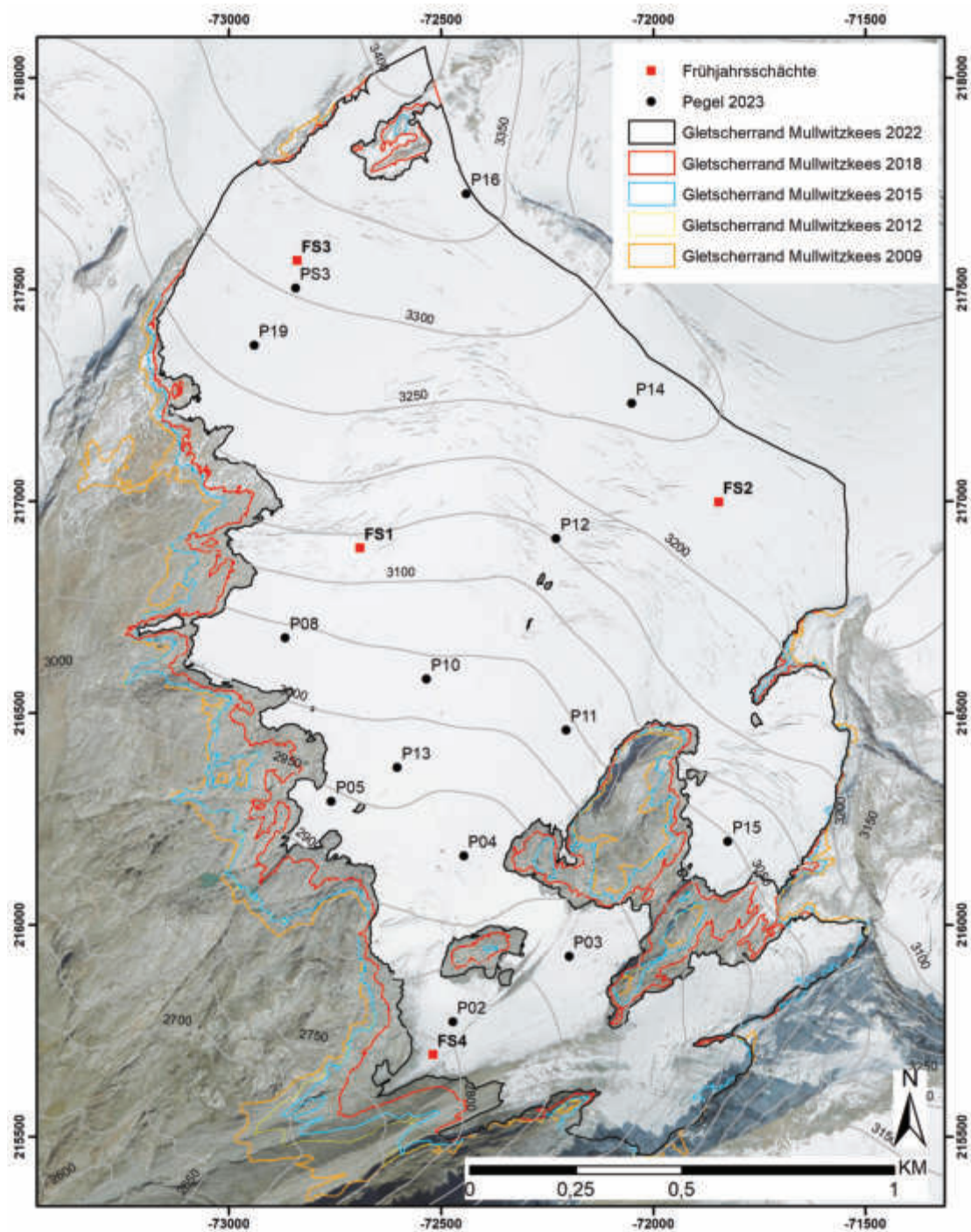


Abbildung 4: Mullwitzkees mit Gletschergrenzen von 2009, 2012, 2015, 2018 und 2022; Lage der Pegel und Frühjahrsschächte 2023. Hintergrund: Orthofoto 2022, Datenquelle: Land Tirol – data.tirol.gv.at.

## 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, dabei wurde auch die mittlere Dichte der Frühjahrsschächte am benachbarten Venedigerkees berücksichtigt. 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 01.10.2022 und 30.04.2023 gültig. Der Wasserwert des Neuschnees vom September 2022 wurde an den jeweiligen Frühjahrsschächten abgezogen. An den Schachtpositionen 1 und 2 wurden Sondierungen durchgeführt.

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [ $kg/m^3$ ]	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1*	4,00	360	1440	1309
2*	3,85	360	1386	1255
3	2,52	367	925	795
4	1,68	342	575	443

Tabelle 4: Tiefe, mittlere Dichte und Wasserwert bzw. korrigierter Wasserwert der Frühjahrsschächte. \* Werte der Sondierungen.

Aus Tabelle 5 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2022 bis 30.04.2023, zu entnehmen. Die Winterbilanz  $B_{wi} = 2148,8 \cdot 10^3 m^3$  ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2022/23 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von  $b_{wi} = 915 mm$ . In Abbildung 5 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.04.2023 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 2022/23 sind in Abbildung 6 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 2148,8 \cdot 10^3 m^3$$
$$b_{wi} = 915 mm$$

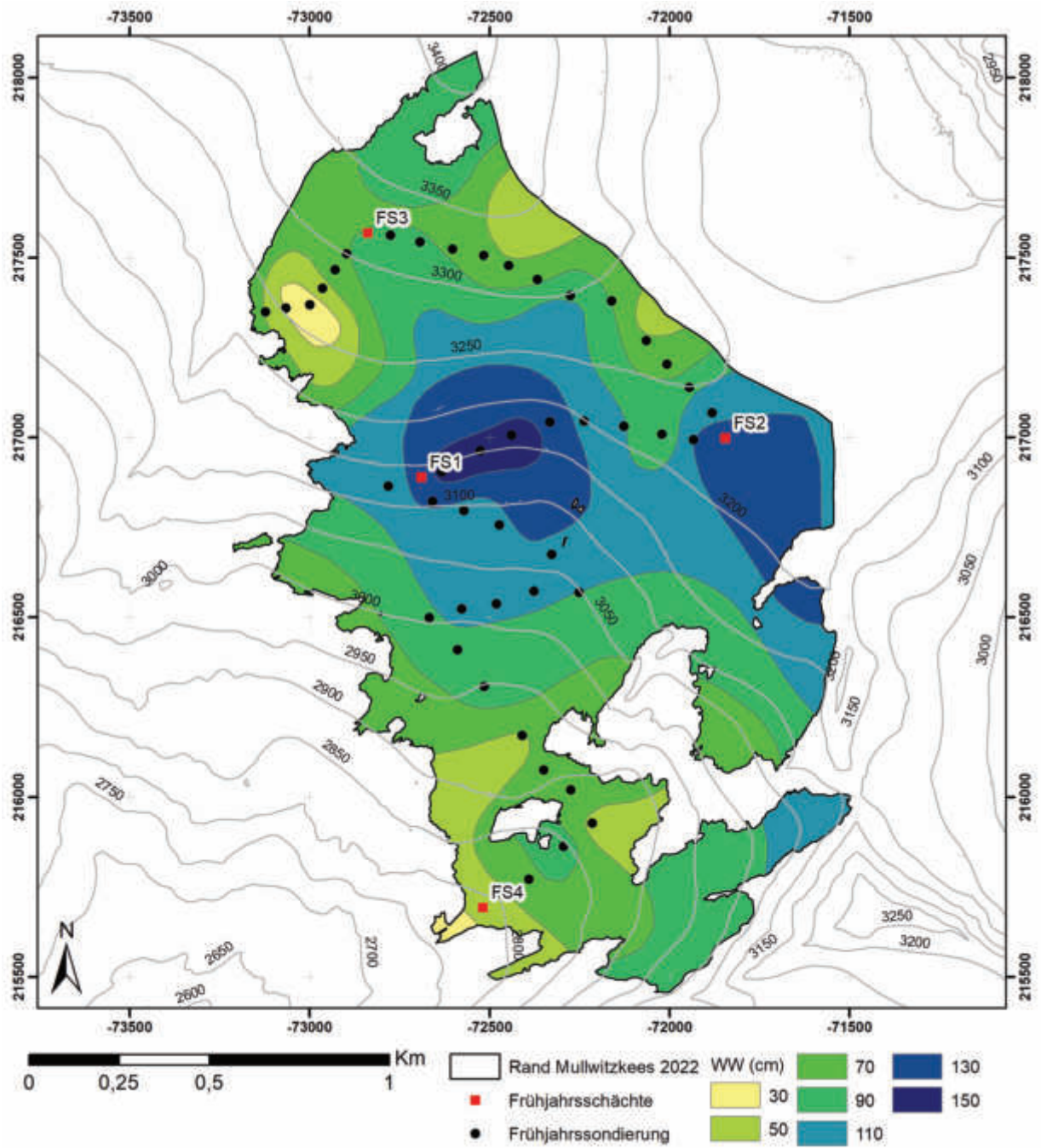


Abbildung 5: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 30.04.2023 und für die Gletschergrenze 2022, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

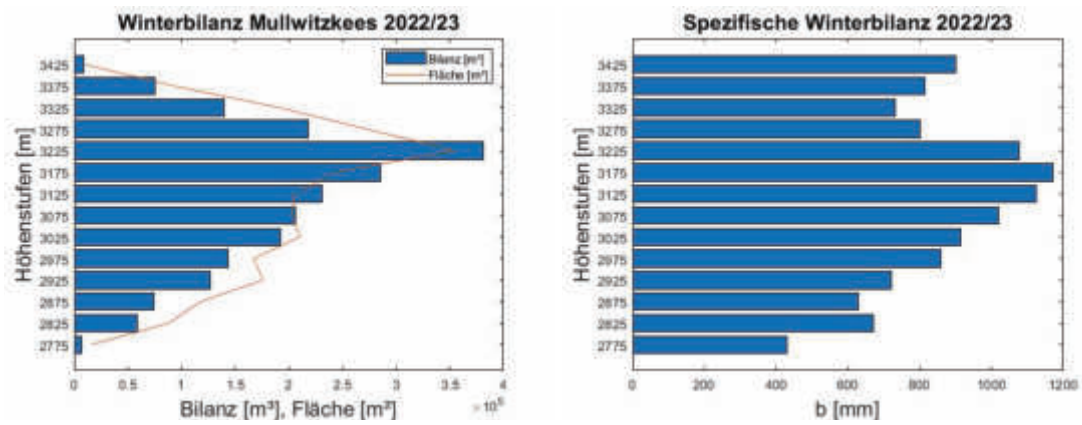


Abbildung 6: Nettobilanz [ $10^5 m^3$ ] und Fläche [ $10^5 m^2$ ] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [ $mm ww$ ] der Höhenstufen (rechts) gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2022/23 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [ $km^2$ ]	Bilanz [ $10^3 m^3$ ]	Wasserwert [ $mm$ ]
3425	0,010	8,6	900
3375	0,093	75,5	813
3325	0,191	139,7	731
3275	0,273	218,1	800
3225	0,354	381,4	1077
3175	0,244	285,1	1171
3125	0,205	230,7	1123
3075	0,203	206,4	1018
3025	0,210	192,5	915
2975	0,167	143,7	860
2925	0,176	126,9	721
2875	0,118	74,3	630
2825	0,088	59,0	670
2775	0,016	6,8	429
Gesamt	2,347	2148,8	915

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

### 4.3. Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2022 – 30.09.2023) 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 2023 waren 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 [ $\text{kg/m}^3$ ]	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1	-	-	-	-750
2	-	-	-	-750
3	-	-	-	-1296

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]
2	-3816	12	-1251
3	-2574	13	-2979
4	-3105	14	-1458
5	-3285	15	-2088
8	-2898	16	-1386
10	-1836	19	-2556
11	-2637	PS3	-1296

Tabelle 7: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2022–30.09.2023), PS3: Pegel bei Schachtposition 3.

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. Das Maximum der Ablation wurde am Zungenende des Gletschers gefunden. Aber selbst in den hochgelegenen Bereichen betrug die Ablation bis zu 1,5 m Eis wie beispielsweise bei 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 30.09.2023, die Gletschergrenze von 2022 sowie die Lage der Pegel (keine Schächte) im Herbst 2023 sind in Abbildung 8 grafisch dargestellt. In Abbildung 7 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -4106,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -1750 \text{ mm}$$

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:

$$B_{so} = -6255,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -2665 \text{ mm}$$



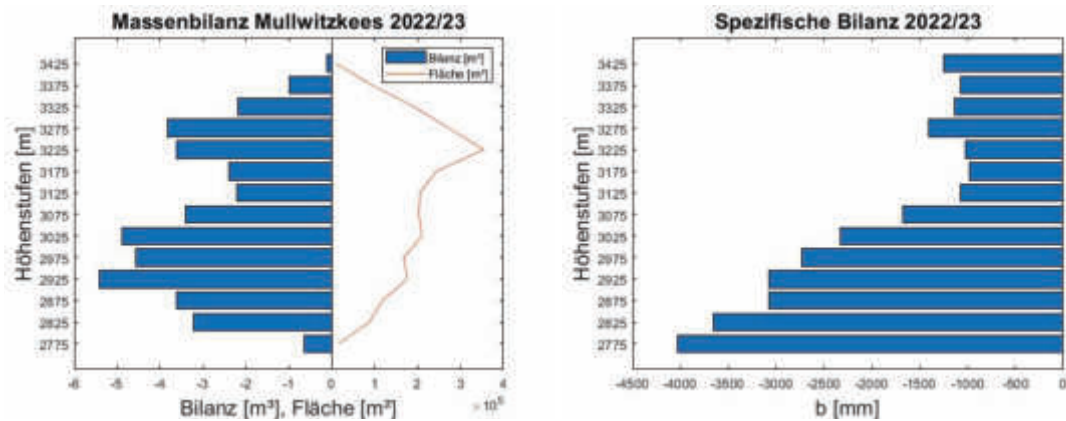


Abbildung 7: Nettobilanz [ $10^5 m^3$ ] und Fläche [ $10^5 m^2$ ] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [ $mm ww$ ] der Höhenstufen (rechts) gültig für das hydrologische Jahr 2022/23 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [ $km^2$ ]	Bilanz [ $10^3 m^3$ ]	Wasserwert [ $mm$ ]
3425	0,010	-11,9	-1250
3375	0,093	-99,3	-1069
3325	0,191	-217,7	-1140
3275	0,273	-382,0	-1400
3225	0,354	-361,9	-1022
3175	0,244	-239,3	-983
3125	0,205	-219,9	-1071
3075	0,203	-340,0	-1678
3025	0,210	-489,0	-2325
2975	0,167	-456,5	-2730
2925	0,176	-541,0	-3075
2875	0,118	-362,5	-3073
2825	0,088	-321,4	-3652
2775	0,016	-64,2	-4029
Gesamt	2,347	-4106,8	-1750

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

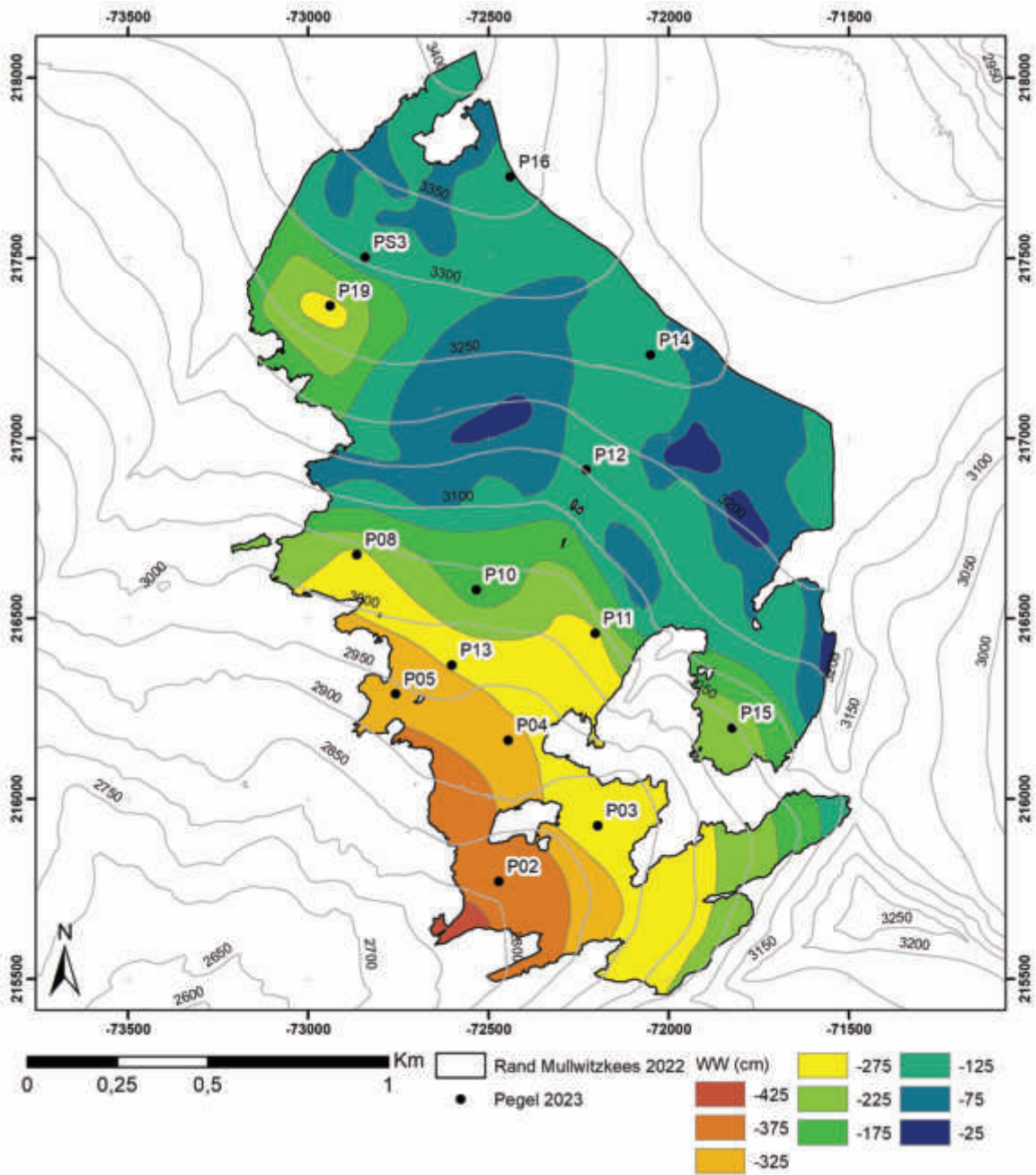


Abbildung 8: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2023 und für die Gletschergrenze 2022, sowie die Positionen der Pegel im Herbst 2023.

## 5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst. Das Bilanzjahr 2022/23 begann, wie auch das Vorjahr, mit einer deutlich unterdurchschnittlichen Schneebedeckung, welche auch bis zum Ende der Winterbilanz nicht mehr ausgeglichen wurde. Der Winter 2022/23 reiht sich somit zu den vier schneeärmsten Wintern der bisher 17-jährigen Messreihe. Eine Reihe von Schneefallereignissen im Mai konnte den Winter etwas ausgleichen, wodurch sich der Beginn der Ausaperung am Gletscher bis Anfang Juli verzögerte. Mehrere Niederschlagsereignisse im August und September, mit Neuschnee in den Hochlagen, reduzierten die Abschmelzbeträge am Gletscher. Allerdings waren bis zum Ende des hydrologischen Jahres die gesamten Schneerücklagen des Winters abgeschmolzen (Abb. 10). Die Eisablation setzte sich auch noch im Oktober fort. In Summe liegt der Massenhaushalt 2022/23 mit einer spezifischen Bilanz von  $b = -1750 \text{ mm}$  an zweiter Stelle (2022:  $b = -2449 \text{ mm}$ ) seit Beginn der Messungen im Jahr 2006 (Abb. 9). Im Mittel der bisher 17-jährigen Messreihe (2007-2023) beträgt die spezifische Bilanz  $\bar{b} = -967 \text{ mm}$  am Mullwitzkees. Seit 2021 hat sich somit die mittlere spezifische Bilanz, aufgrund der stark negativen Jahre 2022 und 2023, um 19% erhöht.

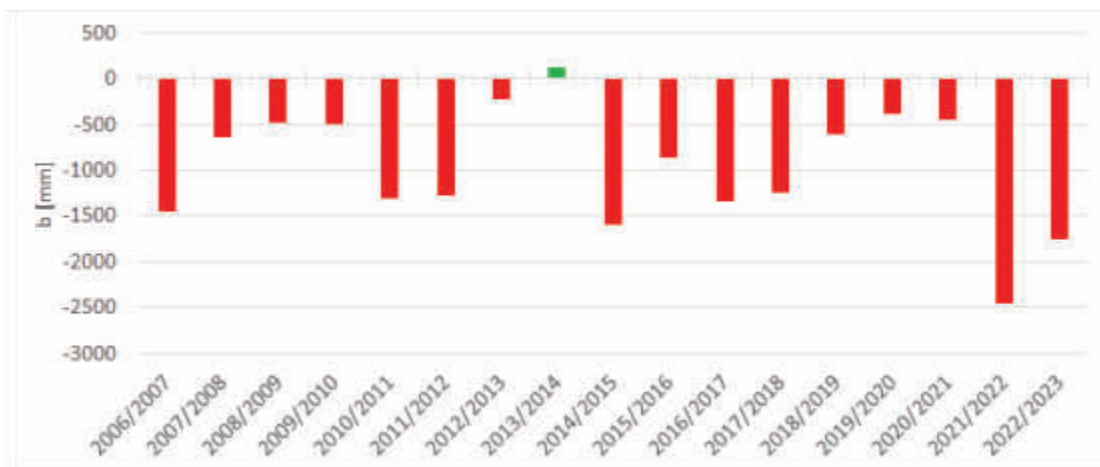


Abbildung 9: Jährliche spezifische Bilanz ( $b$  [mm]) am Mullwitzkees seit Beginn der Messungen im Jahr 2006/07.

	Jahresbilanz	Winterbilanz	Sommerbilanz	Einheit
$S_c$	0			$km^2$
$B_c$	0			$10^3 m^3$
$b_c$	0			$mm$
$S_a$	2,347			$km^2$
$B_a$	-4106,8			$10^3 m^3$
$b_a$	-1750			$mm$
$S$	2,347	2,347	2,347	$km^2$
$B$	-4106,8	2148,8	-6255,6	$10^3 m^3$
$b$	-1750	915	-2665	$mm$
$S_c/S$	0			
$ELA$	$> GN$			$m$

Tabelle 9: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2022/23;  $> GN$ : 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
2022/23	0,000	0,000	0	2,347	-4,107	-1750	2,347	-4,107	-1750	-2665	915	$> GN$	0,000

Tabelle 10: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz von 2006 bis 2023 (Stocker-Waldhuber et al., 2016);  $> GN$ : über Gipfelniveau.

## 6. MitarbeiterInnen

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von G. Bertolotti, B. Seiser 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 (links) 21.08.2023 und (rechts) 30.09.2023 (Quelle: Sentinel Playground, Sinergise Ltd).



Abbildung 11: Arbeiten im Frühjahrsschacht 3 am 27.04.2023 (Foto: G. Bertolotti).



Abbildung 12: Sondierungen im Rahmen der Frühjahrsbegehung am 27.04.2023 (Foto: G. Bertolotti).



Abbildung 13: Ausaperungsbeginn an der Gletscherzunge am Mullwitzkees am 02.07.2023.



Abbildung 14: Zunge Mullwitzkees (Zettalunitzkees) am 23.07.2023.



Abbildung 15: Bereits stark fortgeschrittene Ausaperung am 18.08.2023.





Abbildung 16: Gletscherplateau mit letzten Schneerücklagen im Bereich Schacht 2 am 18.08.2023.



Abbildung 17: Ablationsbeginn bei Pegel 12 am 18.08.2023 mit Blick Richtung Südwesten und Schachtposition 1.



Abbildung 18: Zunge Mullwitzkees (Zettalunitzkees) am 18.08.2023.



Abbildung 19: Äußeres Mullwitzkees zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 17.09.2023.

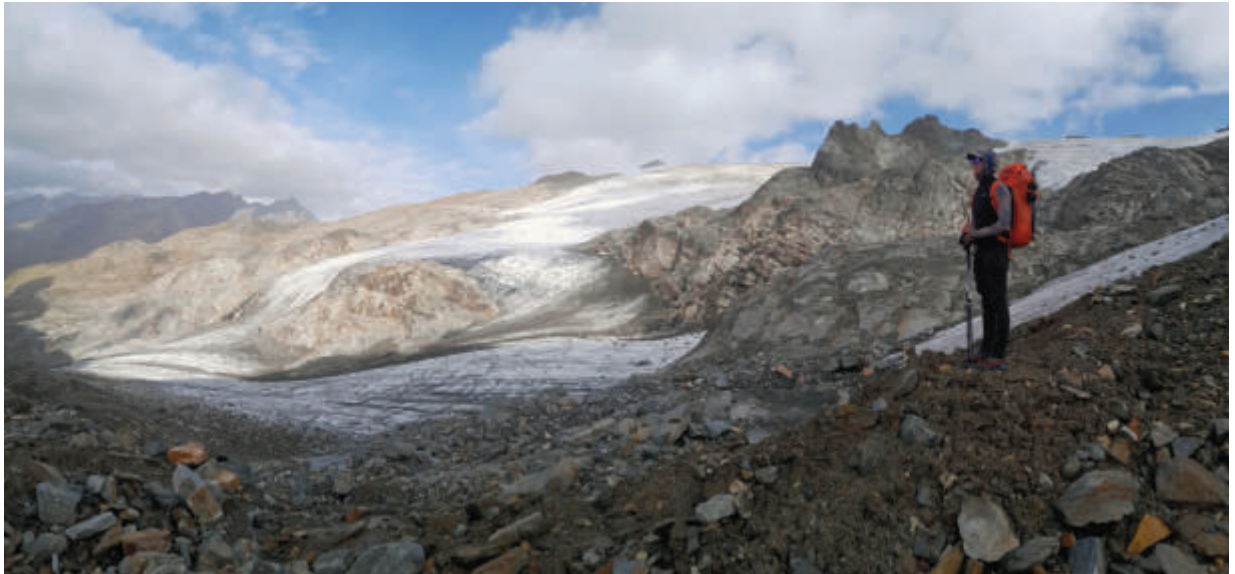


Abbildung 20: Mullwitzkees am 18.09.2023.



Abbildung 21: Mullwitzkees am 01.10.2023.