

ÄUSSERES MULLWITZKEES

MASSENHAUSHALT 2023/2024



Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften und des
Vereins Gletscher und Klima

DR. M. STOCKER-WALDHUBER, PD DR. A. FISCHER
22.11.2024



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^{1,2}
martin.stocker-waldhuber@oeaw.ac.at
Tel.: +43(0)512 507 49457
Fax.: +43(0)512 507 49499

PD Dr. Andrea Fischer^{1,2}
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
- 2 Verein Gletscher und Klima
Adolf-Pichler-Platz 10, A–6020 Innsbruck, Österreich
www.gletscher-klima.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 2023/2024

Jahresbericht des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und des Vereins Gletscher und Klima.

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung über den Massenhaushalt des Mullwitzkees im hydrologischen Jahr 2023/24. 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.

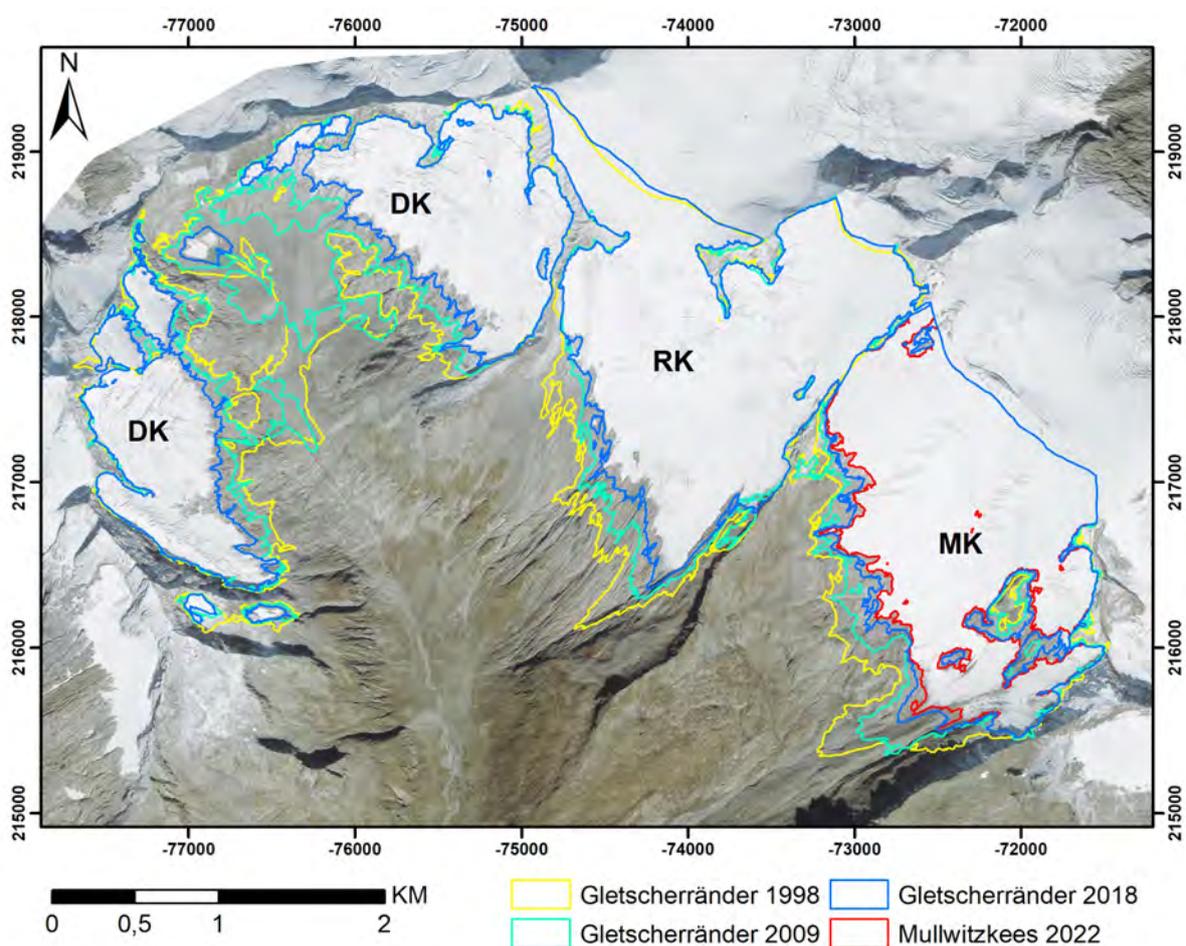


Abbildung 1: Einzugsgebiet des Dorferbachs im oberen Dorfertal, Koordinatensystem: MGI Austria GK Central, Orthofoto 2022 (Datenquelle: Land Tirol – data.gv.at). DK: Dorfer Kees, RK: Rainer Kees (Inneres Mullwitzkees), MK: Mullwitzkees (Äußeres Mullwitzkees, die Zunge wird auch als Zettalunitzkees bezeichnet.).

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: Arbeiten im Frühjahrsschacht 3 am 13.04.2024 (Foto: B. Seiser).

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1. Pegelablesungen

Die bereits vorhandenen Pegel wurden in der Ablationsperiode 2024 regelmäßig abgelesen. Der Großteil der Pegel wurde im Sommer 2024 neu gebohrt. Aufgrund der fortschreitenden Ausaperung wurden die Pegel Nr. 5 und Nr. 12 nicht neu gebohrt, wobei Pegel Nr. 12 eventuell im kommenden Sommer versetzt in Richtung Schachtposition 1 erneuert wird. Pegelposition Nr. 15 ist mittlerweile nur erschwert erreichbar, daher wurde der Pegel oberhalb der Glexenköpfe neu installiert (s. P15n in Abb. 4). Die Pegelbohrungen und Ablesungen fanden am 14.04.2024 im Rahmen der Frühjahrsbegehung, am 05-06.08.2024, 02-03.09.2024 und im Rahmen der Herbstbegehung am 07.10.2024 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 12-13. April 2024 durchgeführt. Im Rahmen der Begehung wurden 2 Schneeschächte gegraben, sowie Sondierungen der Schneehöhen am Gletscher durchgeführt. Generell lag die Schneebedeckung Ende April etwa im Durchschnitt der vergangenen Jahre. Das Wetter zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung: Zu Beginn wolkenlos, mit aufziehender hoher Bewölkung im Tagesverlauf am 13. April; leichter Wind aus nördlicher Richtung mit Temperaturen um den Gefrierpunkt.

3.3. Herbstbegehung

Bei der Herbstbegehung werden zur Bestimmung der Jahresbilanz Schneeschächte gegraben, Sondierungen durchgeführt und die Ablationspegel abgelesen. Die Herbstbegehung fand am 07. Oktober 2024 statt. Nach mehreren starken Neuschneefällen im Zeitraum zwischen Mitte September und Anfang Oktober lagen bereits ca. 20 – 100 *cm* Schnee am Gletscher. Ab ca. 3000 *m* war die Schneedecke geschlossen. Winterschneerücklagen waren jedoch am Ende der Ablationsperiode keine mehr vorhanden, daher wurde nur die Neuschneedichte aufgenommen und an den Pegelpositionen die Schneehöhen sondiert. Das Wetter zum Zeitpunkt der Herbstbegehung: Wolkenlos und nahezu windstill mit Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt.

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. 11). 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 2024 nicht ausgetauscht (aktuelle SN.: 21828508). Die Jahresmitteltemperatur (01.10.2023-30.09.2024) betrug $-2,0^{\circ}\text{C}$ an der Wetterstation (Min: $-20,8^{\circ}\text{C}$; Max: $15,8^{\circ}\text{C}$).

Datum	Messung [cm]					Bemerkung	Niederschlag [mm]
	1	2	3	4	5		
01.10.2023	66,2	66,2	66,3	66,3	66,3	neu befüllt	0
13.04.2024	43,0	43,0	43,1	43,1	43,1		755
18.06.2024	35,8	35,8	35,9	35,9	35,9		990
05.08.2024	29,1	29,1	29,2	29,2	29,2		1210
03.09.2024	24,6	24,6	24,7	24,7	24,7		1357
07.10.2024	16,2	16,2	16,3	16,3	16,3		1618
07.10.2024	66,7	66,7	66,8	66,8	66,8	neu befüllt	

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

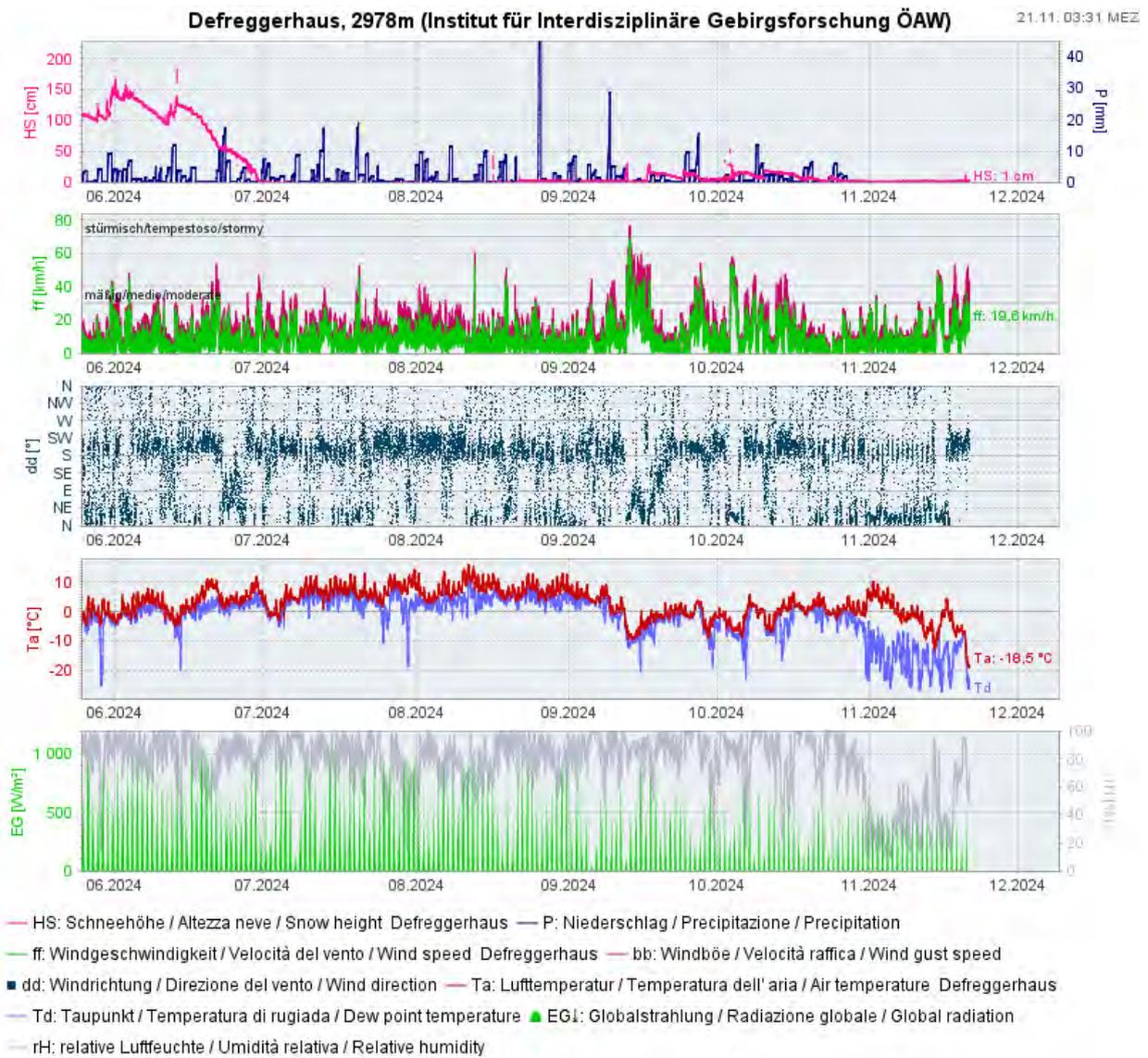


Abbildung 3: Ausschnitt Sommer 2024 der über die Datenbank „Wiski“ des Landes Tirol veröffentlichten Parameter der Wetterstation (www.lawis.at/station).

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.

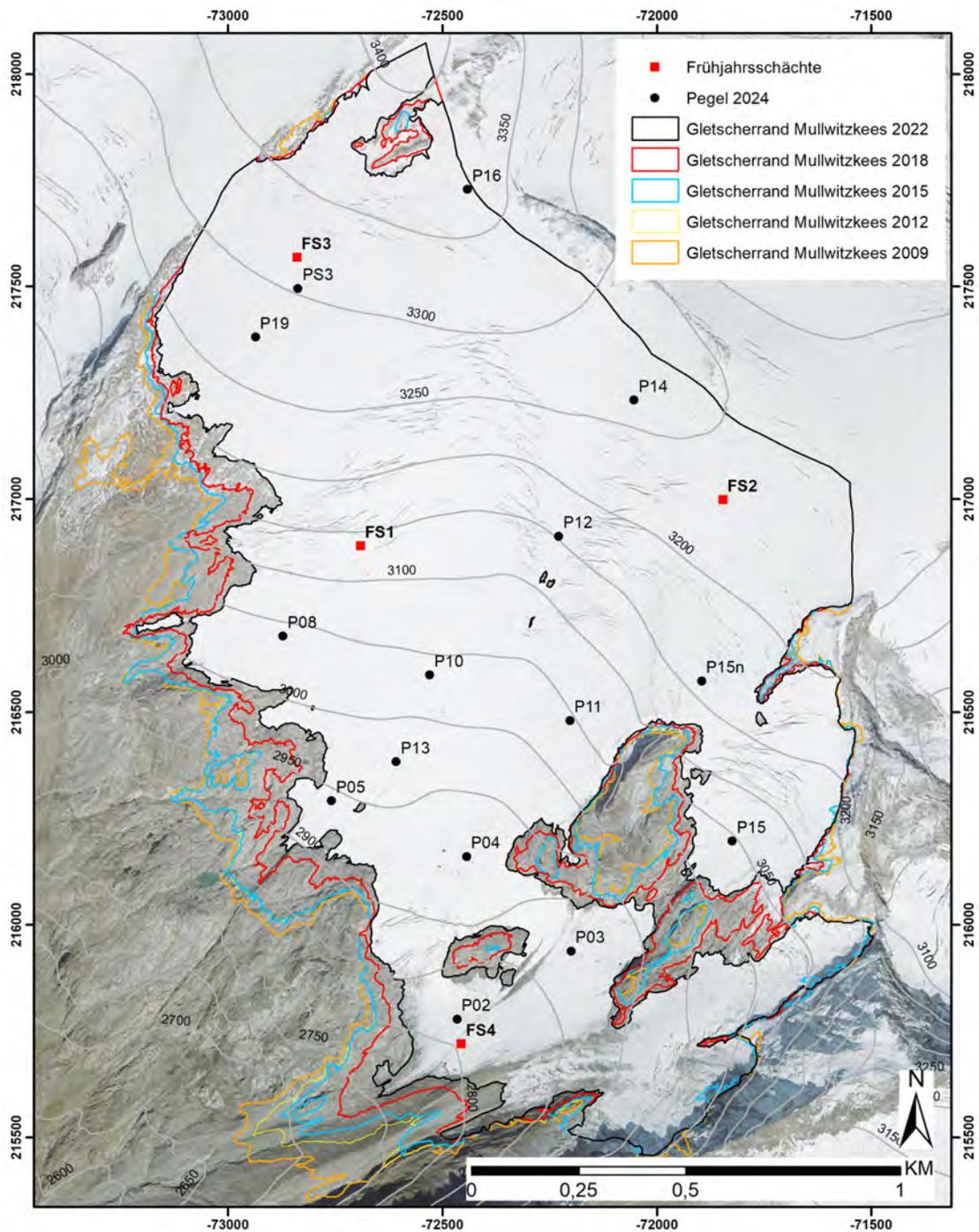


Abbildung 4: Mullwitzkees mit Gletschergrenzen von 2009, 2012, 2015, 2018 und 2022; Lage der Pegel und Frühjahrsschächte 2024. Hintergrund: Orthofoto 2022, Datenquelle: Land Tirol – data.tirol.gv.at.

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. 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 01.10.2023 und 30.04.2024 gültig. Dabei wurden die Neuschneefälle zwischen Frühjahrsbegehung und Ende April berücksichtigt. In diesem Zeitraum fielen ca. 50 cm Neuschnee am Gletscher, berechnet aus Daten der Wetterstation und Messungen im Rahmen der Frühjahrsbegehungen am nahegelegenen Venediger- und Stubacher Sonnblickkees. An den Schachtpositionen 1 und 2 wurden Sondierungen durchgeführt.

Schachtnummer	Tiefe [m]	Dichte [kg/m^3]	Wasserwert [mm]	korr. Wasserwert [mm]
1*	3,55	438	1555	1693
2*	3,30	438	1445	1583
3	2,34	434	1016	1154
4	2,40	442	1061	1198

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

Aus Tabelle 5 sind die Werte der Winterbilanz, gültig von 01.10.2023 bis 30.04.2024, zu entnehmen. Die Winterbilanz $B_{wi} = 2976,3 \cdot 10^3 m^3$ ergibt sich aus der Summe der Bilanzwerte der einzelnen Höhenstufen. Für die Akkumulationsperiode 2023/24 ergab sich eine mittlere spezifische Bilanz von $b_{wi} = 1268 mm$. In Abbildung 5 sind die Flächen gleichen Wasserwertes gültig für den 30.04.2024 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 2023/24 sind in Abbildung 6 aufgezeichnet.

$$B_{wi} = 2976,3 \cdot 10^3 m^3$$

$$b_{wi} = 1268 mm$$

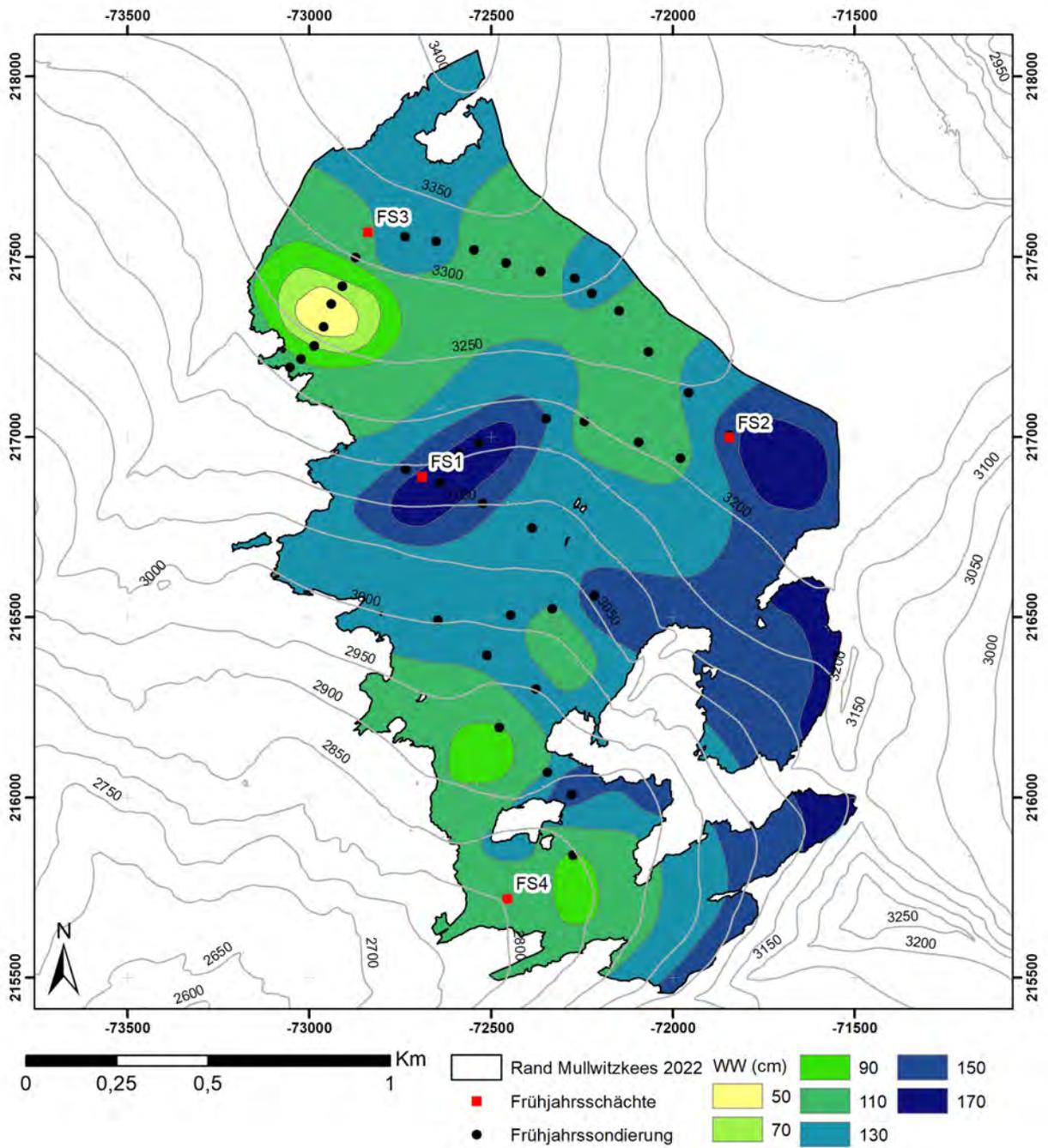


Abbildung 5: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz gültig für den 30.04.2024 und für die Gletschergrenze 2022, sowie Punkte der Sondierungen und Schächte.

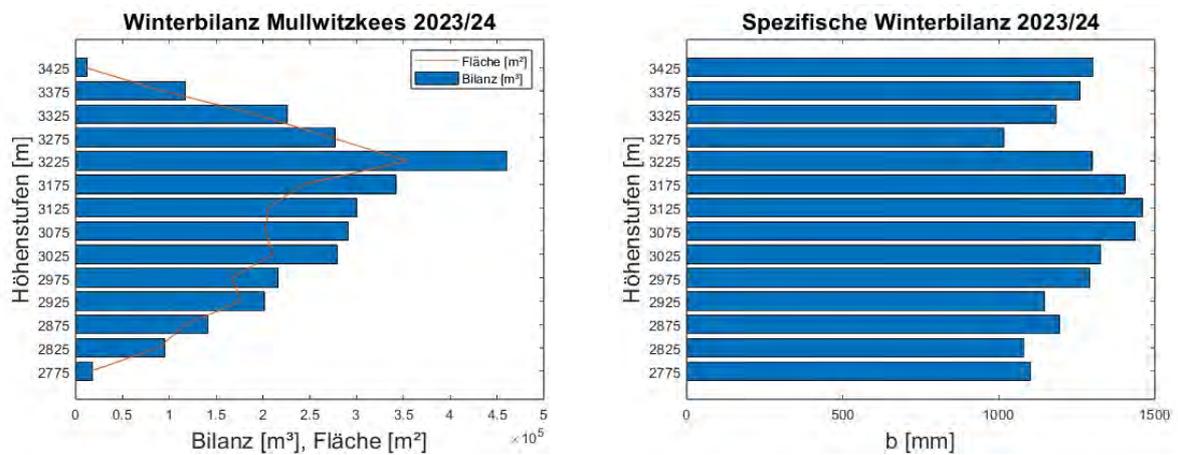


Abbildung 6: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für den Winter des hydrologischen Jahres 2023/24 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,010	12,4	1300
3375	0,093	117,2	1261
3325	0,191	225,8	1182
3275	0,273	277,2	1016
3225	0,354	460,1	1299
3175	0,244	342,1	1405
3125	0,205	300,1	1461
3075	0,203	291,2	1437
3025	0,210	279,2	1327
2975	0,167	216,0	1291
2925	0,176	201,6	1146
2875	0,118	140,9	1195
2825	0,088	95,0	1079
2775	0,016	17,5	1100
Gesamt	2,347	2976,3	1268

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

4.3. Jahresbilanz

Für die Jahresbilanz (01.10.2023 – 30.09.2024) 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 2024 waren keine Schneerücklagen des Vorwinters am Gletscher vorhanden. Aufgrund der Neuschneefälle im September wurde nur die Neuschneedichte gemessen und Sondierungen der Schneehöhen an den Pegelpositionen 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	-	-	-	-1250
2	-	-	-	-250
3	-	-	-	-1696

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	-2738	12	-2190
3	-1892	13	-2258
4	-2651	14	-2257
5	-2771	15	-1672
8	-2865	16	-2761
10	-2130	19	-2554
11	-2829	PS3	-1696

Tabelle 7: Wasserwerte der Ablation an den Pegeln (01.10.2023–30.09.2024), 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 an Pegel Nr. 8 mit ca. 3,4 m Eisschmelze gefunden. Aber selbst am höchstgelegenen Pegel Nr. 16 betrug die Ablation ca. 3,2 m Eis (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 30.09.2024, die Gletschergrenze von 2022 sowie die Lage der Pegel (keine Schächte) im Herbst 2024 sind in Abbildung 8 grafisch dargestellt. In Abbildung 7 ist der Verlauf der Fläche, der Jahresbilanz und der spezifischen Bilanz pro Höhenstufe aufgezeichnet.

$$B = -4185,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -1783 \text{ mm}$$

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:

$$B_{so} = -7161,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_{so} = -3051 \text{ mm}$$

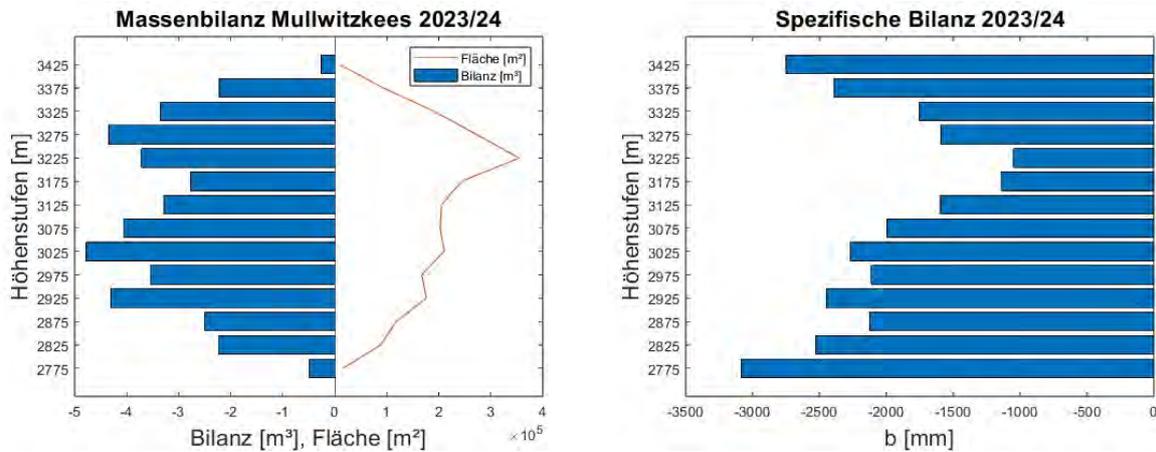


Abbildung 7: Nettobilanz [$10^5 m^3$] und Fläche [$10^5 m^2$] der Höhenstufen (links) und mittlere spezifische Bilanz [$mm ww$] der Höhenstufen (rechts) gültig für das hydrologische Jahr 2023/24 am Mullwitzkees.

Höhenstufe	Fläche [km^2]	Bilanz [$10^3 m^3$]	Wasserwert [mm]
3425	0,010	-26,3	-2750
3375	0,093	-222,0	-2390
3325	0,191	-335,2	-1756
3275	0,273	-434,7	-1594
3225	0,354	-371,7	-1050
3175	0,244	-277,3	-1139
3125	0,205	-328,0	-1597
3075	0,203	-404,9	-1998
3025	0,210	-478,1	-2272
2975	0,167	-353,4	-2114
2925	0,176	-430,9	-2450
2875	0,118	-250,9	-2127
2825	0,088	-222,6	-2529
2775	0,016	-49,2	-3084
Gesamt	2,347	-4185,3	-1783

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

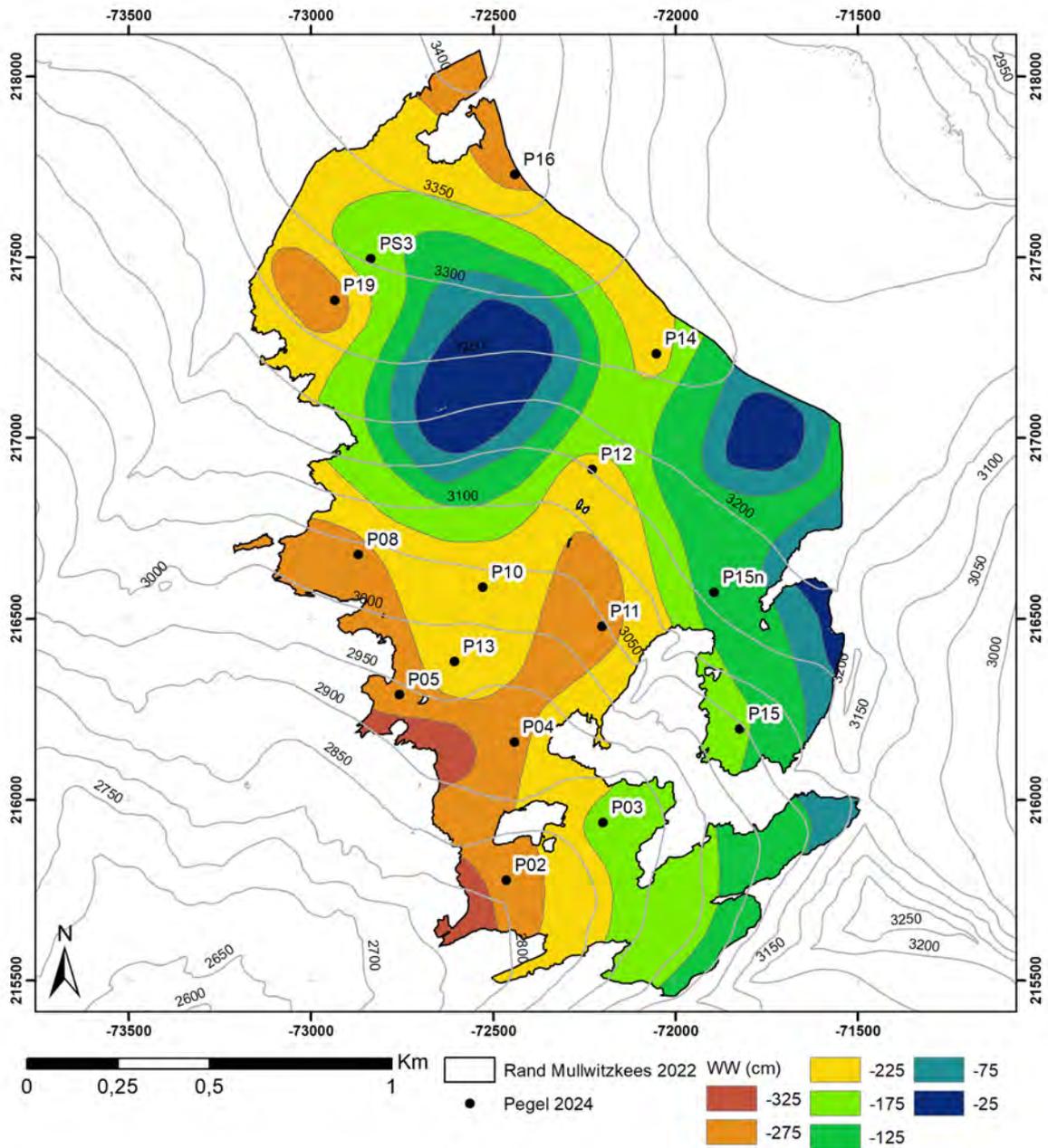


Abbildung 8: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz gültig für den 30.09.2024 und für die Gletschergrenze 2022, sowie die Positionen der Pegel im Herbst 2024.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz, getrennt nach Ablations- und Akkumulationsgebiet zusammengefasst. Im Bilanzjahr 2023/24 setzte sich die Eisablation noch im Oktober fort. Die größten Neuschneemengen wurden im Frühwinter und Frühjahr, insbesondere im April und Mai verzeichnet. Die Schneedecke am Gletscher war überaus stark vom Wind beeinflusst, stark verfrachtet und windgepresst. In Summe liegt die Winterbilanz etwa im Durchschnitt seit Beginn der Messungen im Jahr 2006. Aufgrund einer Reihe von Schneefallereignissen im Mai verzögerte sich der Beginn der Ausaperung am Gletscher bis Anfang Juli. Allerdings waren bis Ende August nahezu die gesamten Schneerücklagen des Winters abgeschmolzen (Abb. 10). Die Eisablation endete mit ergiebigen Neuschneefällen ab 08. September. Bis zum Zeitpunkt der Herbstbegehung lagen bereits ca. 20 – 100 cm Schnee am Gletscher. Trotz der relativ kurzen Ablationsperiode liegt der Massenhaushalt 2023/24 mit einer spezifischen Bilanz von $b = -1783 \text{ mm}$ an zweiter Stelle (2022: $b = -2449 \text{ mm}$) seit Beginn der Messungen im Jahr 2006 (Abb. 9) und ist vergleichbar mit der Bilanz des Vorjahres (2023: $b = -1750 \text{ mm}$). Im Mittel der bisher 18-jährigen Messreihe (2007-2024) beträgt die spezifische Bilanz $\bar{b} = -1012 \text{ mm}$ am Mullwitzkees. Die letzten 3 Jahre waren gleichzeitig auch die drei negativsten Bilanzjahre, wodurch sich die mittlere spezifische Bilanz, um 24% seit 2021 erhöht hat.



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	-4185,3			$10^3 m^3$
b_a	-1783			mm
S	2,347	2,347	2,347	km^2
B	-4185,3	2976,3	-7161,6	$10^3 m^3$
b	-1783	1268	-3051	mm
S_c/S	0			
ELA	$> GN$			m

Tabelle 9: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2023/24; $> GN$: 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
2023/24	0,000	0,000	0	2,347	-4,185	-1783	2,347	-4,185	-1783	-3051	1268	$> GN$	0,000

Tabelle 10: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz von 2006 bis 2024 (Hartl et al., 2024; Stocker-Waldhuber et al., 2016); $> GN$: über Gipfelniveau.

6. MitarbeiterInnen

Die Feldarbeiten bzw. Totalisatorablesungen wurden von S. Scheiblauer, L. Hartl, G. Bertolotti, A. Gschwentner, A. Hartig, 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.

Hartl, L., B. Seiser, M. Stocker-Waldhuber, A. Baldo, M. Lauria, und A. Fischer, 2024: Glaciological and meteorological monitoring at Long Term Ecological Research (LTER) sites Mullwitzkees and Venedigerkees, Austria, 2006–2022 . *Earth System Science Data*, **16**, 4077–4101.

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 30.08.2024 mit nahezu vollständiger Ausaperung am Mullwitzkees (Quelle: Sentinel Playground, Sinergise Ltd.)



Abbildung 11: Totalisator und Wetterstation am 18.06.2024.



Abbildung 12: Mullwitzkees am 05.08.2024.

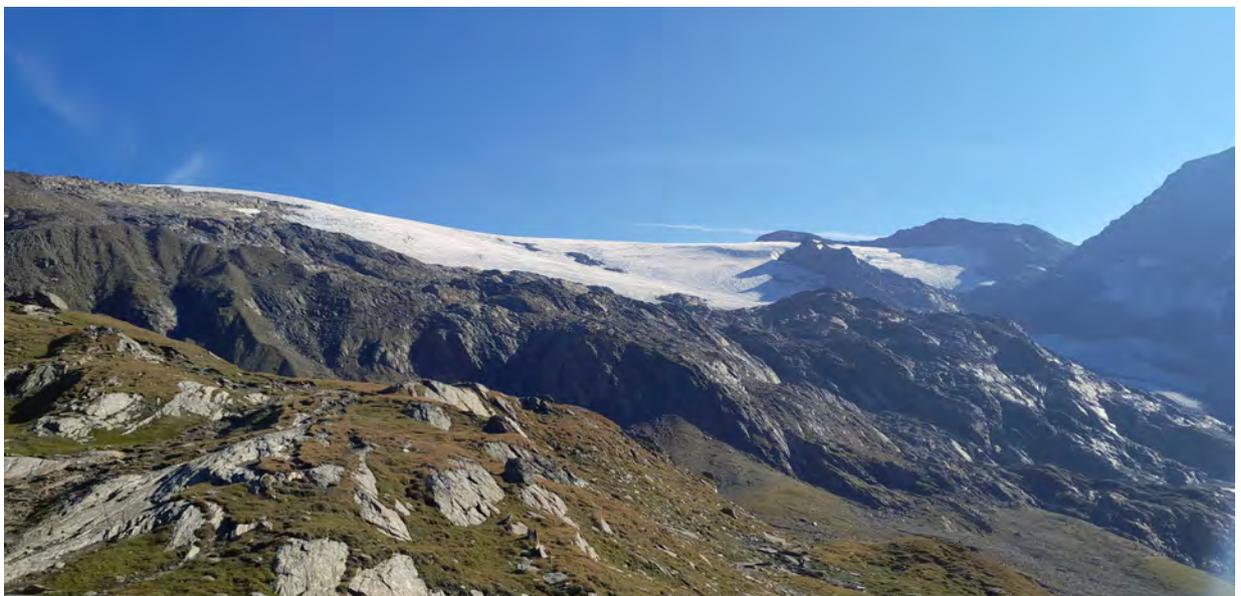


Abbildung 13: Mullwitzkees am am 02.09.2024.



Abbildung 14: Zentraler Gletscherbereich am 02.09.2024.



Abbildung 15: Letzte Schneerücklagen im Bereich Schachtposition 1 am 03.09.2024. Neue Felsinseln im Vordergrund.



Abbildung 16: Mullwitzkees zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 07.10.2024.



Abbildung 17: Blick von Schachtposition 3 Richtung Süden zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 07.10.2024.