

# Hallstätter Gletscher

## Massenhaushalt und Klima 2023/2024

Giulia Bertolotti MSc, Mag. Klaus Reingruber, Dr. Kay Helfricht, Dr. Andrea Fischer

Jahresbericht  
des Instituts für Interdisziplinäre Gebirgsforschung  
der Österreichischen Akademie der Wissenschaften  
und der BLUE SKY Wetteranalysen  
Traummüller und Reingruber OG



# Hallstätter Gletscher

Massenhaushalt und Klima  
2023/2024

Im Auftrag von

Energie AG Oberösterreich  
Böhmerwaldstrasse 3  
Postfach 298  
A-4021 Linz, Austria  
service@energieag.at  
Tel.: +4305/9000 – 0  
Fax.: +430800/818001

Land Oberösterreich  
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft  
Promenade 37  
A-4021 Linz, Austria  
uwd.post@ooe.gv.at  
Tel.: +43(0)732/7720 – 14550  
Fax.: +43(0)732/7720 – 214549

Durchführung der Arbeiten

Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung  
Österreichische Akademie der Wissenschaften  
Innrain 25  
A-6020 Innsbruck, Austria  
www.mountainresearch.at

BLUE SKY Wetteranalysen, Traunmüller und Reingruber OG  
Ingenieurbüro für Meteorologie  
Steinhüblstrasse 1  
A-4800 Attnang-Puchheim, Austria  
<http://www.blueskywetter.com>

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Giulia Bertolotti Msc | giulia.bertolotti@oeaw.ac.at<br>Tel.: +43(0)660 185 0562 |
| Mag. Klaus Reingruber | office@blueskywetter.at<br>Tel.: +43(0)7674 20660        |
| Dr. Kay Helfricht     |  |
| Dr. Andrea Fischer    | andrea.fischer@oeaw.ac.at<br>Tel.: +43(0)512 507 49451   |

Die Ergebnisse aller Messungen sowie der aktuelle Stand sind abrufbar unter  
[www.dachsteingletscher.info](http://www.dachsteingletscher.info).

# Kurzfassung

Im Massenhaushaltsjahr 2023/24 wurde der **fünftgrößte jährliche Massenverlust** in der 18-jährigen Messreihe festgestellt. Nach einem erstem Wintereinbruch im November 2023 waren der Januar und Februar 2024 niederschlagsarm. Starke Niederschläge setzten dann ab April ein und konnten dies bis zum Ende des Winterzeitraumes ausgleichen. Am Frühjahrsschacht unterhalb der Steinerscharte fiel die Schneedecke mit 7,02 Meter leicht überdurchschnittlich aus. Auf der östlichen Zunge waren 1 bis 3 Meter Schnee zu messen. In Summe ergab sich für das Winterhalbjahr eine **überdurchschnittliche Akkumulation**, die zweithöchste seit Messbeginn. **Wechselhaftes Wetter** im Mai und Juni brachte zusätzliche Schneeablagerungen, aber auch mehrere **Saharastaub-Ereignisse**, welche die **Schneeschnmelze beschleunigten**. Mitte Juni kam es zu ersten Ausaperungen des Eises auf der östlichen Gletscherzunge. Überdurchschnittliche Sommertemperaturen und keine sommerlichen Schneefälle erhöhten die Eisschnmelze. Trotz dem früheren Wintereinbruch am 12. September 2024 erwies sich die **Sommerbilanz 2023/2024** als die **zweinegativste seit Messbeginn** nach der Sommerbilanz 2021/22. Zum Zeitpunkt der Herbstbilanz war nur mehr ein **sehr geringer** Teil der Gletscherfläche mit **Rücklagen** aus dem vorangegangenen Winter bedeckt. Das Maximum der Ausaperung wurde zu diesem Zeitpunkt für das Haushaltsjahr 2023/24 festgehalten, war aber für die Ablationssaison 2024 wahrscheinlich noch nicht erreicht, da es im Oktober 2024 die Gletscherzungen wieder ausaperten. Die **spezifische Massenbilanz des Massenhaushaltsjahres 2023/24 beträgt -1522 mm** Wasseräquivalent. Dies entspricht einem Wasservolumen von  $3372 \cdot 10^3 m^3$  Wasser bzw. einem **mittleren Eisdickenverlust von rund 1,7 Meter** gemittelt über die gesamte Gletscherfläche. Damit war die Gesamtbilanz zwar deutlich weniger negativ als im Massenhaushaltsjahr 2021/22, und auch weniger negativer als 2022/2023, dennoch verlor der Hallstätter Gletscher weiterhin rund 5% seiner noch existierenden Masse.

Seit Herbst 2006 werden am Hallstätter Gletscher Massenbilanzmessungen durchgeführt. Dabei wird mit Schneeschächten und Schmelzpegeln festgestellt, welche Menge an Schnee und Eis am Hallstätter Gletscher pro Jahr dazukommt oder abschmilzt. Wie hoch die Massenumsätze sind, hängt von der Witterung während des Jahres ab. Deshalb werden parallel zu den Messungen am Gletscher auch die Wetterdaten gemessen und aufgezeichnet. Das Land Oberösterreich und die Energie AG ermöglichen die Forschungsarbeiten unter der wissenschaftlichen Leitung des Institutes für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der ÖAW in Zusammenarbeit mit BLUE SKY Wetteranalysen als Projektpartner vor Ort.

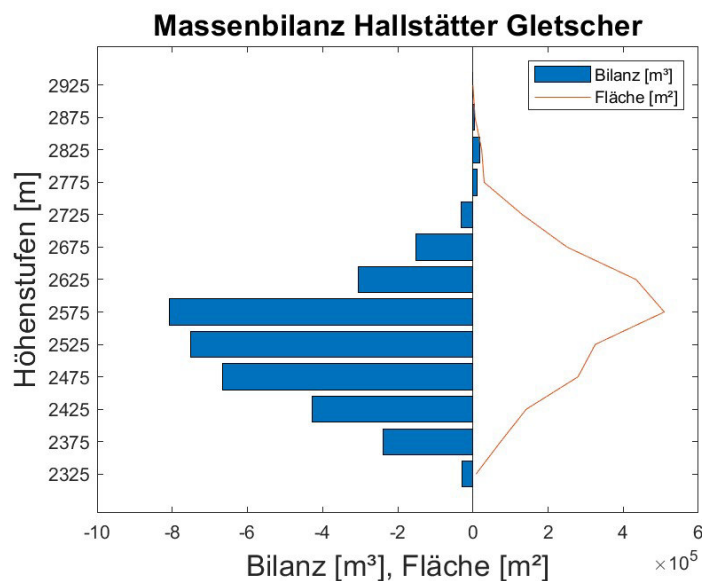


Abbildung 1: Massenbilanz sowie Verteilung der Fläche des Hallstätter Gletschers nach Höhenstufen 2023/24.

# Inhaltsverzeichnis

|       |                                 |    |
|-------|---------------------------------|----|
| 1     | Ziel der Massenbilanzmessungen  | 1  |
| 2     | Das Untersuchungsgebiet         | 2  |
| 3     | Klima und Witterungsverlauf     | 3  |
| 4     | Massenbilanz                    | 7  |
| 4.1   | Methode                         | 7  |
| 4.2   | Durchgeführte Arbeiten          | 7  |
| 4.2.1 | Pegelablesungen                 | 7  |
| 4.2.2 | Frühjahrsbegehung               | 7  |
| 4.2.3 | Herbstbegehung                  | 7  |
| 4.2.4 | Ausaperungsflächen              | 9  |
| 4.2.5 | Niederschlag                    | 9  |
| 4.2.6 | Aktuelle Geländedaten           | 10 |
| 4.3   | Auswertung                      | 11 |
| 4.3.1 | Winterbilanz                    | 11 |
| 4.3.2 | Jahresbilanz                    | 12 |
| 4.3.3 | Sommerbilanz                    | 15 |
| 4.4   | Online Massenbilanz             | 15 |
| 4.5   | Besonderheiten 2024             | 16 |
| 4.6   | Zusammenfassung der Ergebnisse  | 17 |
| A     | Anhang                          | 19 |
| A.1   | MitarbeiterInnen und Danksagung | 19 |
| A.2   | Definitionen                    | 19 |
| A.3   | Fotos                           | 21 |
|       | Literaturverzeichnis            | 36 |

## Ziel der Massenbilanzmessungen

Gletscher sind empfindliche Indikatoren für Klimaänderungen. Dennoch gibt es weltweit nur wenige Gletscher an denen langjährige Reihen des Massenhaushaltes gemessen werden [1]. Massenbilanzmessungen dienen dabei zur Untersuchung des direkten Zusammenhanges zwischen Gletschern und dem Klima. Diese Verbindung drückt sich langfristig in Flächen- und Volumenänderungen aus. Entscheidend für die Entwicklung eines Gletschers sind Veränderungen im Bereich des Massengewinns, der Akkumulationszone, und der Bereich des Massenverlustes, der Ablationszone. Abbildung 1.1 zeigt einen schematischen Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers.

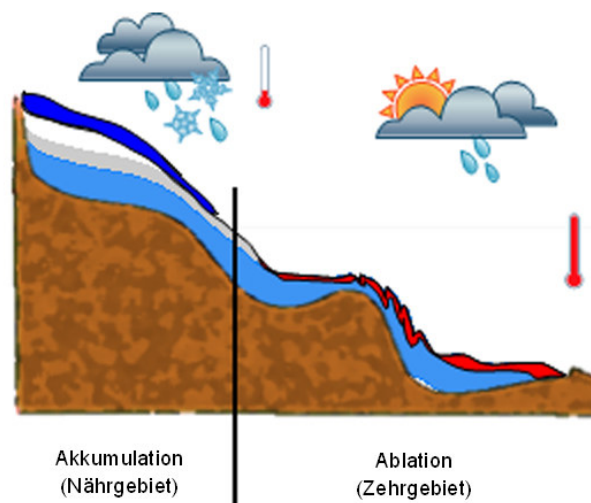


Abbildung 1.1: Schematischer Schnitt entlang der zentralen Fließlinie eines Gletschers. Farblich dargestellt sind die Eismasse des Gletschers (hellblau), im Bereich der Akkumulation Schnee (dunkelblau) und Firn (weiß/grau) sowie der Massenverlust (rot) im Ablationsgebiet. Die Thermometer geben die relativen Temperaturverhältnisse wieder.

Gelegen im Dachsteingebiet, gehört der Hallstätter Gletscher zu den nördlichen Kalkalpen und wird von den klimatischen Bedingungen des Alpennordrandes beeinflusst. Speziell in dieser Region treten erhöhte Niederschlagsmengen gegenüber dem Alpenhauptkamm auf. In Folge dessen kann sich der Gletscher in niedrigeren Höhenstufen halten. In Verbindung mit meteorologischen Daten und Massenbilanzmessungen über mehrere Jahre können solche Beziehungen näher untersucht werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse für das Massenhaushaltsjahr 2023/24 dargelegt.

# 2

## Das Untersuchungsgebiet

Der Hallstätter Gletscher ist der größte Gletscher der nördlichen Kalkalpen [2]. Im Sommer 2018 fand eine neue Aufnahme der Gletscheroberfläche des Hallstätter Gletschers mittels luftgestütztem Laserscanning statt. Die topographischen Daten konnten auf Grundlage des digitalen Geländemodells und des Orthofotos (Land Oberösterreich) aktualisiert werden. Aufgrund größerer Flächenverluste an der mittleren Zunge sowie das weitere Ausapern der Felsinsel unterhalb des Eissteins wurde die Gletschergrenze für 2024 mithilfe von Sentinel-2 Satellitenbilder [8] angepasst (Abb. 4.1). Der Hallstätter Gletscher ist nordostseitig ausgerichtet und durch Felswände umrandet. An das große Plateau oberhalb von 2550 Meter Höhe schließen drei kurze Zungen an. Wie aus Abbildung 2.1 ersichtlich, befindet sich die flächenmäßig größte Höhenzone zwischen 2550 m und 2600 m. Der höchste Punkt des Gletschers liegt auf 2905 m, der niedrigstgelegene Punkt befindet sich auf 2300 m. Der Hallstätter Gletscher besitzt eine Fläche von 2,21 km<sup>2</sup> (Gletschergrenze 2024). Dies ist weniger als die Hälfte seiner Ausdehnung gegenüber dem Gletscherhochstand 1856 [5]. Allein in den vergangenen 10 Jahren hat sich die Fläche des Hallstätter Gletschers um mehr als 20% verkleinert. Ebenso ging das Volumen des Gletschers stark zurück ([3]).

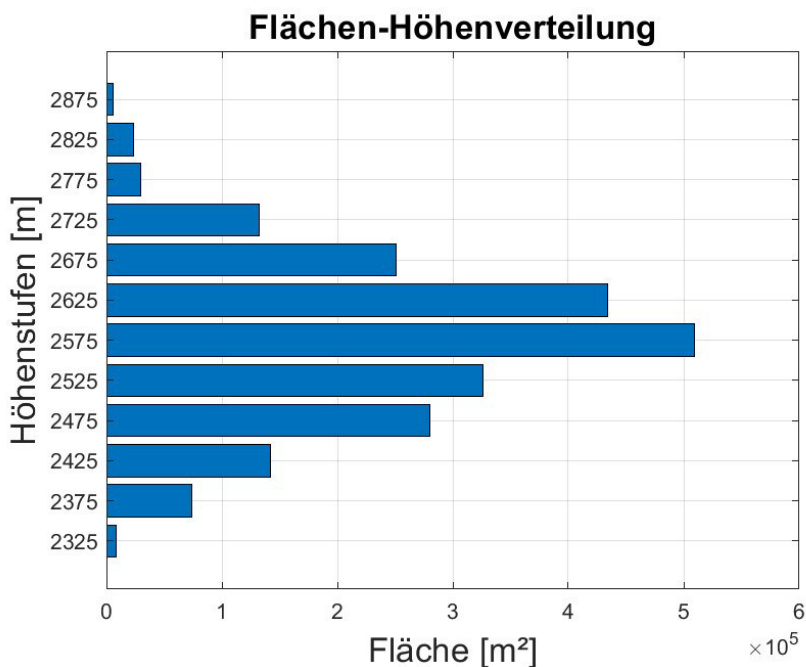


Abbildung 2.1: Flächen-Höhenverteilung des Hallstätter Gletschers auf Grundlage des Höhenmodells von 2018 und der adaptierten Gletschergrenze von 2024.

# 3

## Klima und Witterungsverlauf

Die klimatischen Randbedingungen für den Hallstätter Gletscher unterscheiden sich von denen anderer österreichischer Gletscher mit Massenhaushaltsmessungen, welche am Alpenhauptkamm liegen [4]. Aufgrund seiner Exposition und Lage am Alpennordrand treten gegenüber dem östlichen Mittel erhöhte Niederschlagsmengen auf. Auch ist innerhalb des Landes Oberösterreich ein deutlicher Niederschlagszuwachs vom Mühlviertel bis zum Dachstein zu verzeichnen (Abb. 3.1). Dies begründet sich durch luvseitige Staueffekte bei nordwest- bis nordöstlicher Anströmung.

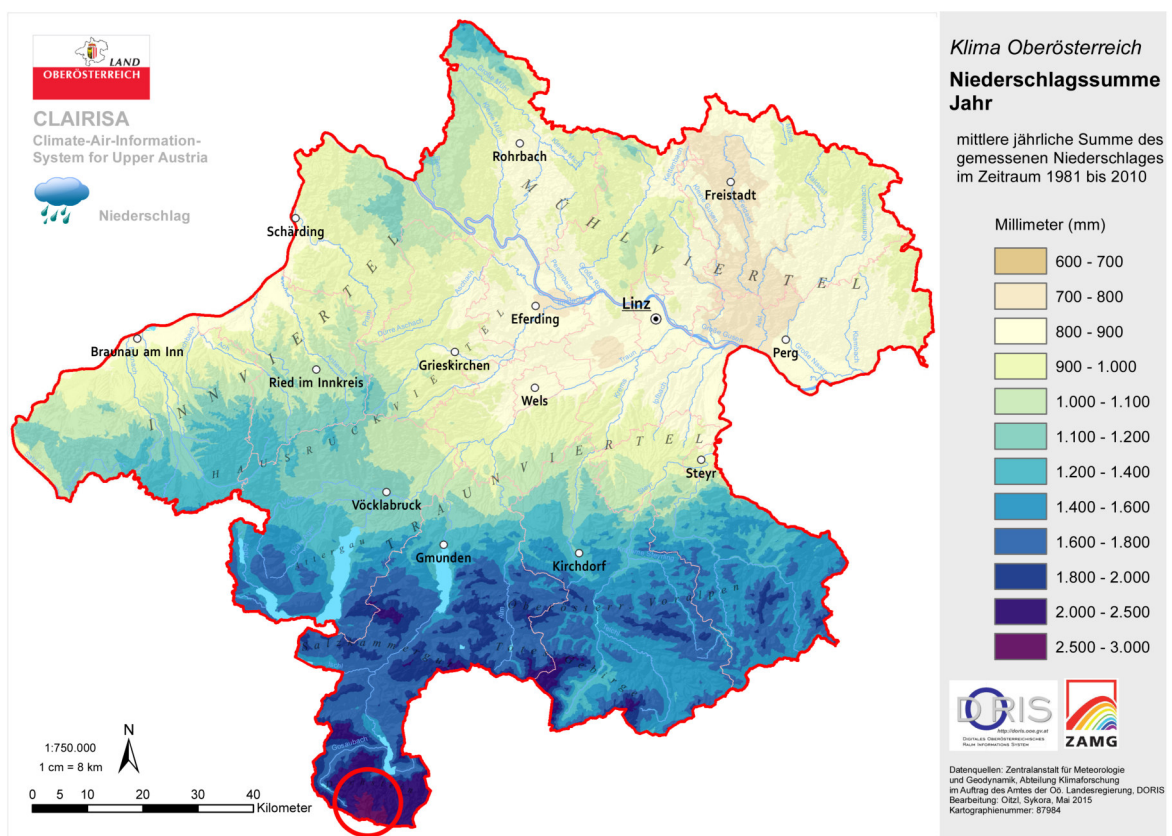


Abbildung 3.1: Mittlere Jahresniederschlagsmenge in mm (Datenquellen: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abteilung Klimaforschung im Auftrag des Amtes der Oö. Landesregierung, DORIS). Im Ausschnitt rot markiert die Lage des Hallstätter Gletschers.

Für den Massenhaushalt eines Gletschers in unserer Alpenregion sind drei meteorologische Parameter von besonderer Bedeutung:

1. der Niederschlag während des Winters,
2. die Sommertemperatur und
3. die Anzahl und Menge der Neuschneefälle während des Sommers.

Das hydrologische Jahr vom 1.10.2023 bis zum 30.09.2024 begann mit einem warmen Spätherbst, in dem ein Teil der Mitte Oktober akkumulierten Schneedecke bereits wieder geschmolzen wurde, so dass blankes Eis zum Vorschein kam. Erst wiederholte Schneefälle im November und Dezember legten den gesamten Gletscher unter eine Schneedecke. Die Schneefälle im Januar, Februar und März fielen gering aus. Zu einer größeren Akkumulation kam es erst ab April (Abb. 3.5). Im Februar und März herrschten außerdem ungewöhnlich hohe Temperaturen (Abb. 3.2 und Abb. 3.2). Anfang April wurde auch Saharastaub am Gletscher abgelagert (Abb. A.1), der als gut sichtbare Schicht im Frühjahrsschacht erkennbar war (Abb. A.14). Ein weiteres Anwachsen der Schneedecke war bei wechselhaften Bedingungen mit stets durchschnittlichen Temperaturen aber erhöhten Niederschlagsmengen im April zu verzeichnen (Abb. 3.3, 3.4 und 3.5). Zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung wurde mit 5,04 Meter (Schacht 2) bzw. 7,02 Meter (Schacht 3) eine leicht überdurchschnittliche Schneemächtigkeit im Bereich der Schächte festgestellt (Abb. A.3, A.13, A.14). Auf der östlichen Zunge des Hallstätter Gletschers wurden jedoch nur geringe Schneemächtigkeiten von 1 bis 3 Meter sondiert, was in weiterer Folge hier auch zum ersten Ausapern der Eisoberfläche Ende Juni führte (Abb. A.4). Trotzdem erwies sich die Winterbilanz 2023/24 mit +2662 mm WW Schnee als die zweithöchste Winterbilanz nach 2011/12. Der Monat Mai und die ersten Hälfte des Juni verliefen wechselhaft, bevor sich in der zweiten Junihälfte und im Juli längere Perioden mit hohen Temperaturen und raschem Schneedeckenverlust einstellten (Abb. 3.2, 3.3 und A.6). Der Schneedeckenverlust wurde zudem durch weitere Saharastaub-Ereignisse in Mai und Juni beschleunigt. Über die Sommermonate kam es zu für diese Jahreszeit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen. An der Wetterstation der Simonyhütte (2250 m a.s.l.) wurden kaum Minustemperaturen zwischen Mai und der ersten Septemberhälfte aufgezeichnet (Abb. 3.3). Der letzte Schneefall fiel am 12. Juni. Danach fiel hauptsächlich flüssiger Niederschlag, bis zum ersten Schneefall am 12. September (Abb. A.8). Somit erfolgte eine rasche Ausaperung der Eisoberfläche, die durch die Präsenz der Saharastaubschichten begünstigt wurde. Fast die komplette Schneedecke des Winters 2023/24 wurde, bis auf wenigen Flecken am oberen Rand und in den klassischen Lawinenkegeln, geschmolzen. Mit dem ergiebigen Schneefall Mitte September wurde erstmals die Schmelze gebremst (Abb. A.9). Zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 23.09.2024 war der Gletscher wieder mit einer 50 bis 100 cm dicken Schneeschicht bedeckt (Abb. A.10).

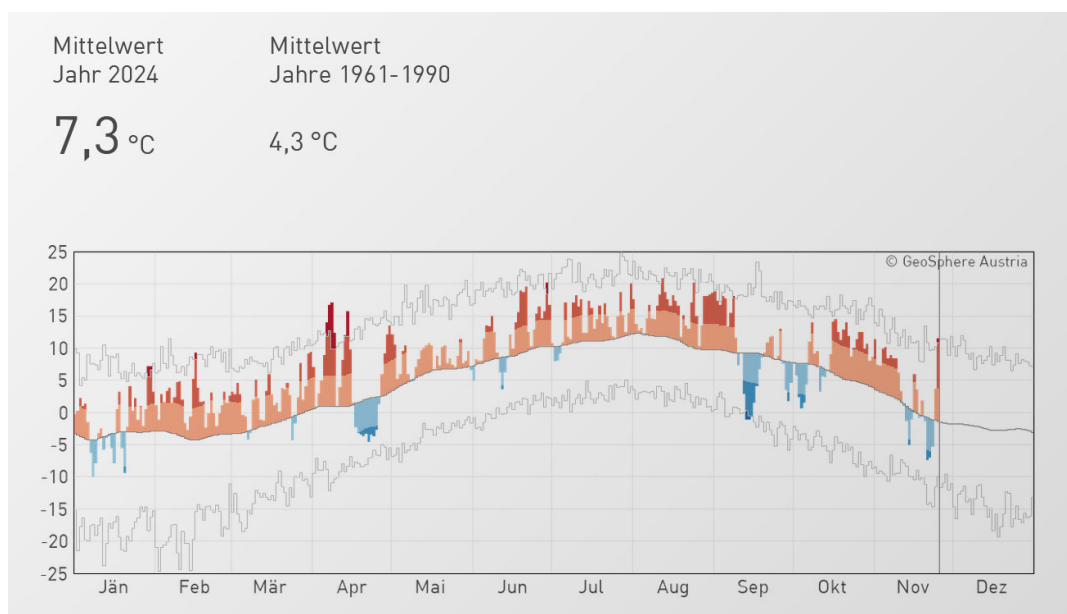


Abbildung 3.2: Temperaturverlauf des Jahres 2024 an der Station Feuerkogel (Mittel bezogen auf die Periode 1961 bis 1990). Die Abbildung wird von GeoSphere Austria unter <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring> zur Verfügung gestellt.



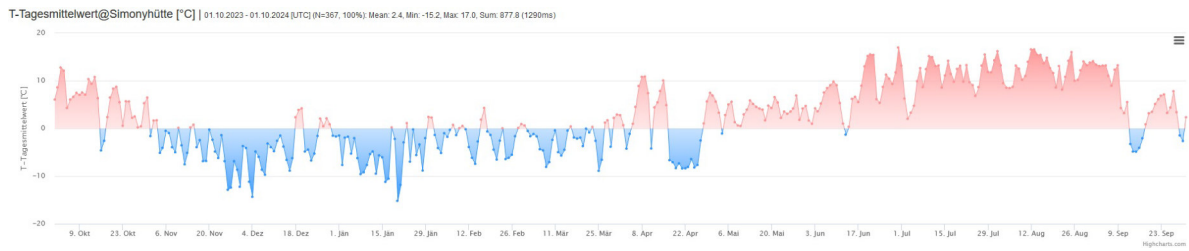


Abbildung 3.3: Temperaturverlauf von Oktober 2023 bis September 2024 an der Station Simonyhütte.

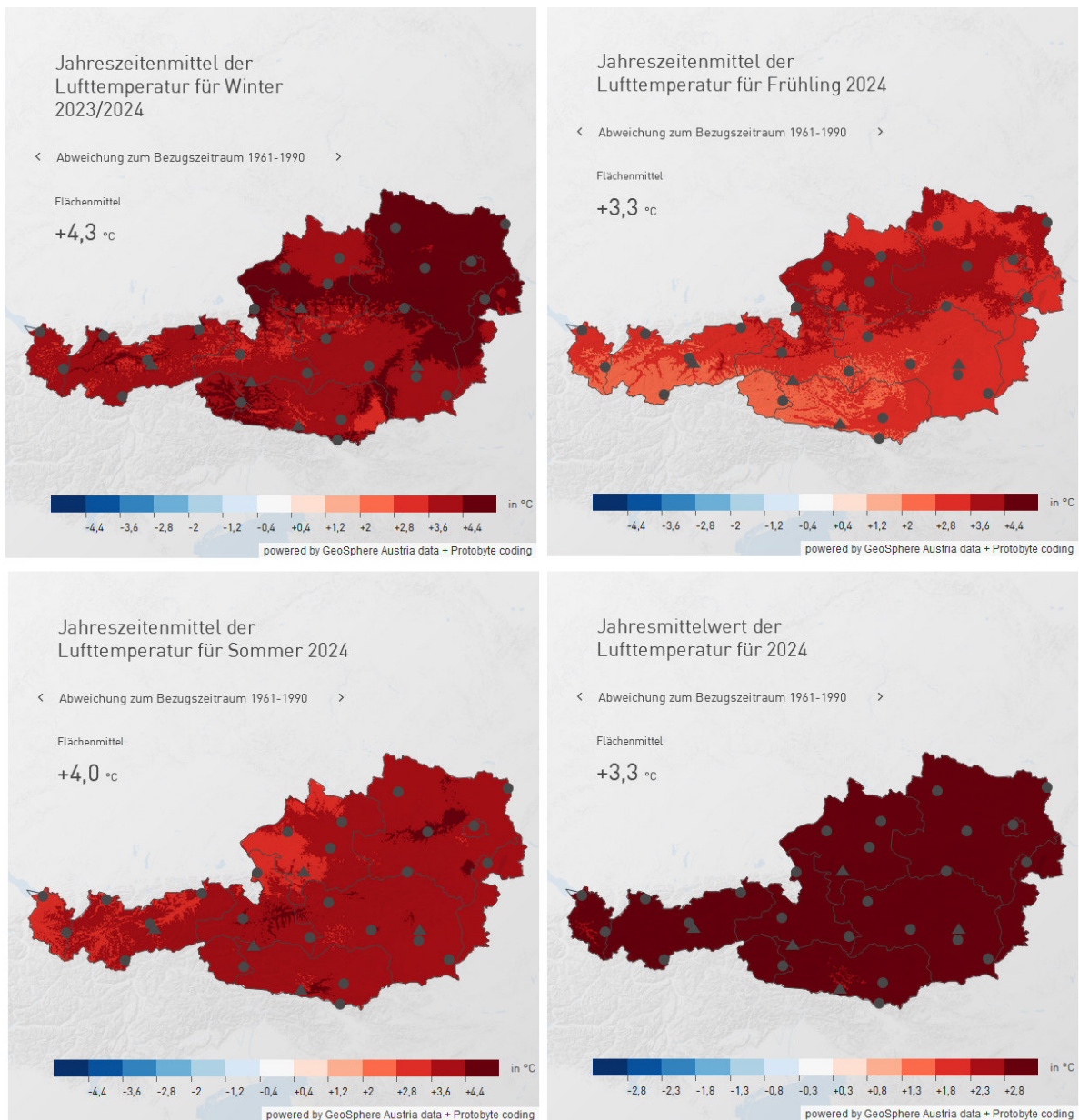


Abbildung 3.4: Übersicht der Abweichungen vom langjährigen Mittel der Temperatur für die Jahreszeiträume Winter (DJF), Frühling (MAM) und Sommer (JJA) sowie für das gesamte Jahr 2024. Die Abbildungen werden von GeoSphere Austria unter <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring> zur Verfügung gestellt.

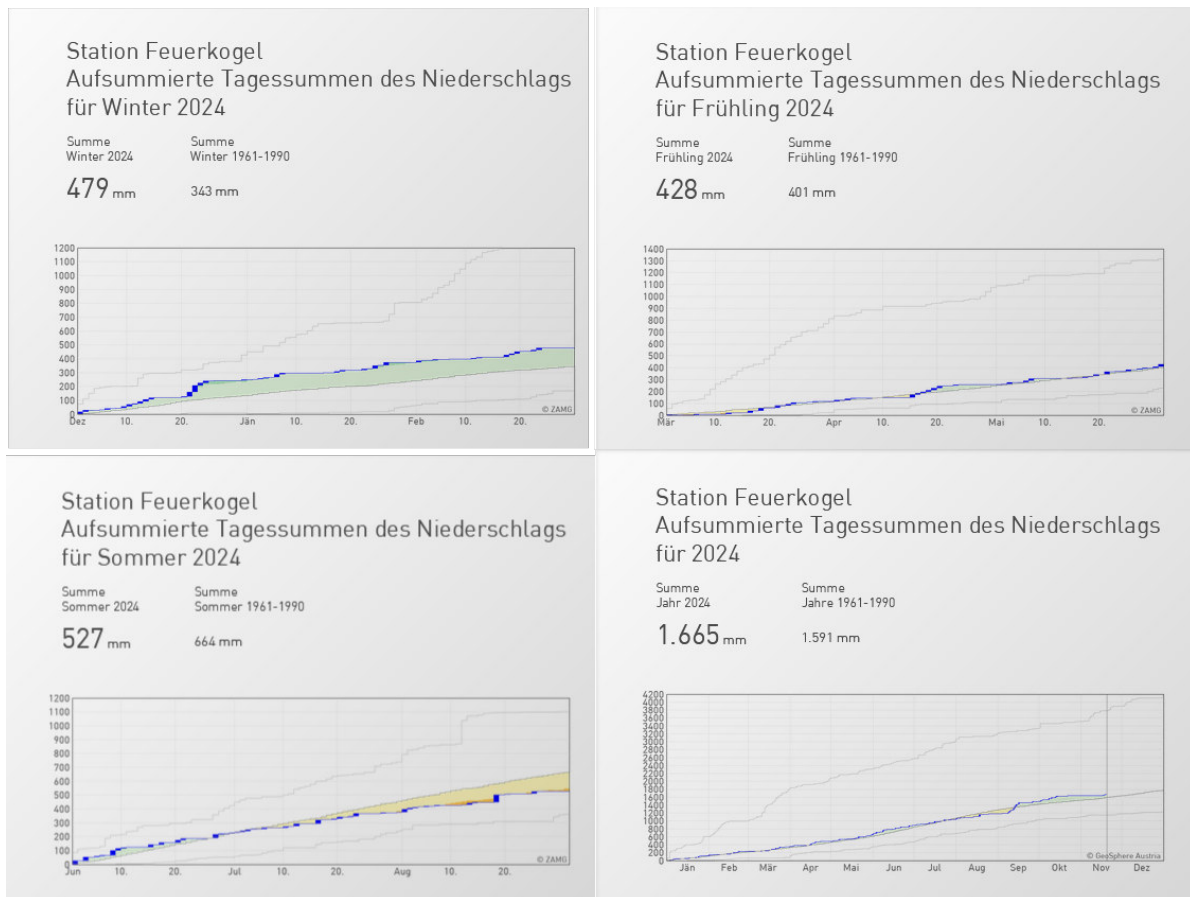


Abbildung 3.5: Übersicht der Abweichungen vom langjährigen Mittel des Niederschlags (unten) für die Jahreszeiträume Winter (DJF), Frühling (MAM) und Sommer (JJA) sowie für das gesamte Jahr 2024. Die Abbildungen werden von GeoSphere Austria unter <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring> zur Verfügung gestellt.

# 4

## Massenbilanz

### 4.1. Methode

Der Massenhaushalt eines Gletschers beschreibt, wie viel Schnee oder Eis in einem Haushaltsjahr dazugekommen oder abgeschmolzen ist. Zur Erstellung der Massenbilanz mit der direkten glaziologischen Methode werden Messungen an mehreren Stellen eines Gletschers vorgenommen [6]. Im Ablationsgebiet (Zehrgebiet) dienen Holzpegel dazu, anhand Ablesens des freien Endes die Schmelze zu ermitteln. Im Akkumulationsgebiet (Nährgebiet) werden Schächte bis zur Gletscheroberfläche des Vorjahres gegraben. Aus deren Dichteprofil wird das Wasseräquivalent des akkumulierten Schnees errechnet. Der Massenhaushalt wird für den Zeitraum des hydrologischen Jahres vom 1.10. bis 30.09. des darauffolgenden Jahres bestimmt. Aus der Aufsummierung der Akkumulation des Winterhalbjahres mit der Ablation der Schmelzsaison erhält man die Massenbilanz eines Jahres [7].

### 4.2. Durchgeführte Arbeiten

#### 4.2.1. Pegelablesungen

Im Massenhaushaltsjahr 2023/24 wurden die Pegel im Rahmen der Herbstbegehung am 23.09.2024 abgelesen, sowie im Jahr 2024 am 14.7., 25.7., 31.7. und am 28.8. Die Positionen der Pegel sind der Abbildung 4.1 zu entnehmen. Am 14.7. wurden die Pegel 31 und 37, am 31.7. die Pegel 21-24, 28, 30, 34 und 36, und am 28.8. der Pegel 39 neu gebohrt. Außerdem wurden 4 neue Pegel (35, 41, 42, 43) im oberen Teil des Gletschers gebohrt, da dieser Teil immer häufiger ausapert. Pegel 35 wurde nur noch zur Herbstbegehung abgelesen. Der in Tabelle 4.5 aufgelistete Wert entspricht daher nur die Periode 28.8-23.9. 2024. Pegel 41, 42 und 43 konnten aufgrund des frühen Wintereinbruch am 12.9. nicht mehr abgelesen werden.

#### 4.2.2. Frühjahrsbegehung

Zur Erstellung der Winterbilanz eines Gletschers wird um den 1. Mai des Jahres die Frühjahrsbegehung durchgeführt. Das Graben von Schächten und die Erstellung des Dichteprofiles sowie die Sondierungen der Schneedecke dienen hierbei zur Ermittlung der Verteilung der Schneeakkumulation und der Berechnung des entsprechenden Wasseräquivalents.

Die Frühjahrsbegehung des Hallstätter Gletschers 2024 fand am 01. und 02. Mai statt. Am 01. Mai wurde im Bereich der östlichen und der mittleren Zunge sondiert sowie die Frühjahrsschächte 2 (unterhalb des Eissteins) und 3 gegraben und jeweils ein Dichteprofil bestimmt (Abb. 4.3; Abb. A.13; Abb. A.14). Am 02. Mai wurde die Schneehöhe auf der westlichen Zunge mittels Bodenradar gemessen (Abb. A.15).

#### 4.2.3. Herbstbegehung

Die Herbstbegehung dient zur Bestimmung der Schneerücklagen, welche die Ablationsaison bis zum 30. September des Jahres überdauern haben. Auch hier wird die räumliche Verteilung durch Sondierungen aufgenommen wenn noch entsprechende Rücklagen zu finden sind oder bereits eine Neuschneedecke existiert. Mit der anhand von Schneeschächten berechneten mittleren Dichte des Schnees wird das Wasseräquivalent der verbliebenen Schneedecke ermittelt. Zusätzlich werden Pegelablesungen durchgeführt, um die maximale

Eisablation an den Pegelpositionen zu bestimmen. Anhand der Ergebnisse dieser Messungen wird die Jahresbilanz des hydrologischen Jahres erstellt.

Die Herbstbegehung fand am 23. September 2024 statt (Abb. A.10). Aufgrund des ergiebigen Schneefalls Mitte September wurden nur einige Pegeln auf der östlichen Zunge gefunden und abgelesen. Die Begehung von der westlichen Zunge war aufgrund der relativ dünnen Schneedecke und der Spaltenabsturzgefahr nicht mehr möglich. Vor dem Schneefall war jedoch der Gletscher fast komplett ausgeapert (Abb. A.8, Abb. A.11). Nennenswerte Rücklagen aus dem Winter mit bis zu 1 Meter Mächtigkeit konnten nur mehr unterhalb der Kreuzwand auf dem westlichen Teil des Gletschers und unterhalb des Dachsteingipfels vorgefunden werden. Es gab keine Rücklage im Bereich des Herbstschachtes. Hier wurden nur 1,11 Meter Neuschnee gemessen (Abb. A.20).

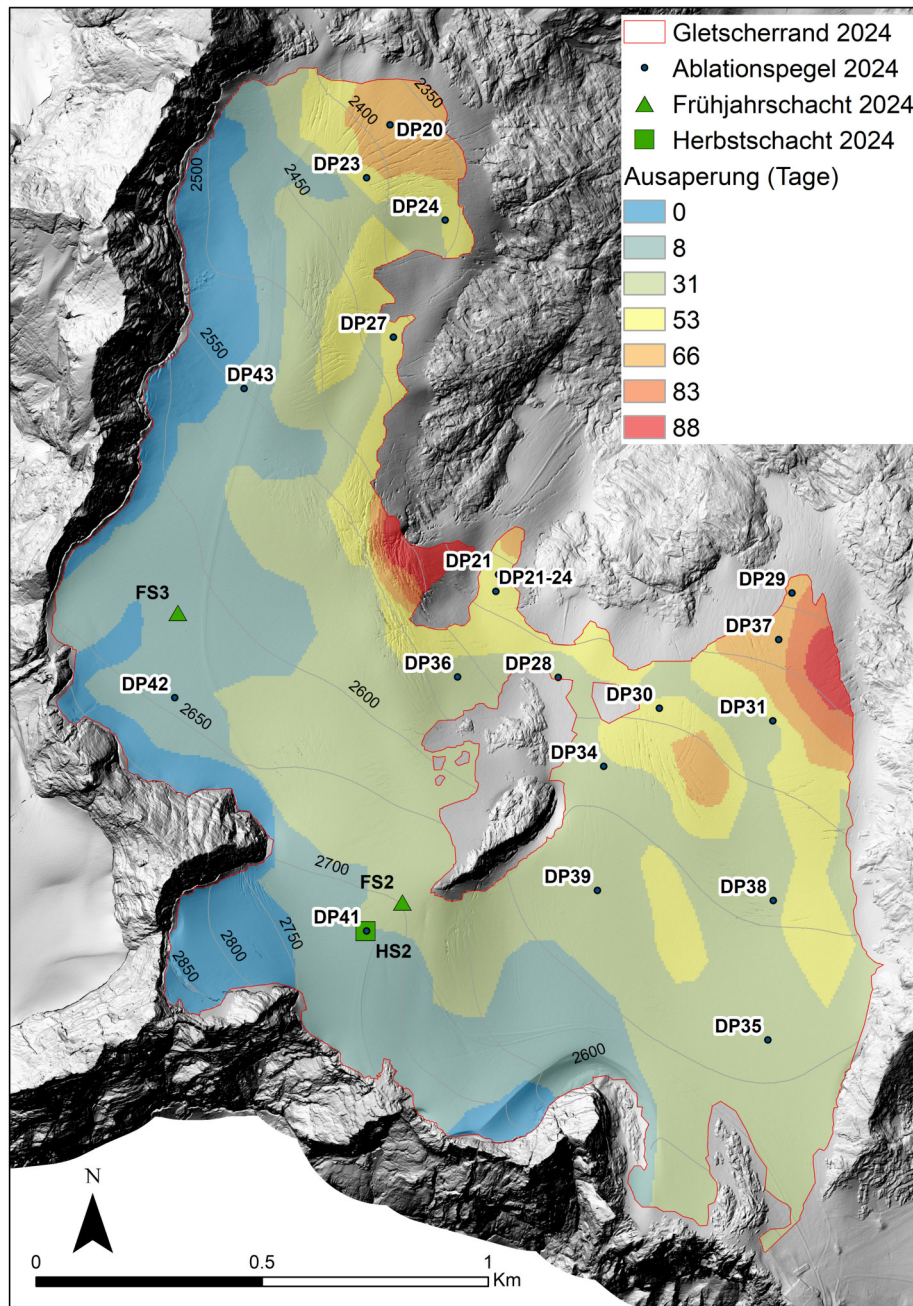


Abbildung 4.1: Positionen der Pegel (DP=Dachstein Pegel, mit Bezeichnung des Jahres der Bohrung) und Lage der Frühjahrs- sowie Herbstschächte 2023/24. Die Dauer der Ausaperung in Tagen aus Sentinel-2 optischen Bildinformationen ist farblich hinterlegt. Kartengrundlage: beleuchtetes Höhenmodell 2018 (Land Oberösterreich). (FS = Frühjahrsschacht; HS = Herbstschacht)

#### 4.2.4. Ausaperungsflächen

Unter Verwendung von optischen Satellitendaten des Sentinel-2 Satelliten lassen sich schneebedeckte von bereits ausgeaperten Gletscherflächen gut unterscheiden. Für die Berechnung der Massenbilanz 2023/24 konnten die Ausaperungsmuster für 7 Aufnahmezeitpunkte zwischen dem 18.6. und dem 04.09.2024 kartiert und die Anzahl der schneefreien Tage bis Ende September ausgewertet werden. Die farblich gekennzeichneten Flächen wurden zur Auswertung der Bilanz einbezogen (Abb. 4.1). Die letzte auswertbare Aufnahme stammt vom 04.09.2023 (Abb. A.11). Aus den Aufnahmen ergibt sich eine maximale Dauer der Ausaperung von 88 Tagen im Bereich der östlichen Zunge.

#### 4.2.5. Niederschlag

Der bisher zur Niederschlagsmessung verwendete Totalisator im Bereich des Gletschervorfeldes der mittleren Zunge des Hallstätter Gletschers wurde im Sommer 2020 endgültig abgebaut. Die automatische Niederschlagsmessung im Bereich der Simonyhütte ist nunmehr seit fünf Jahren in Betrieb. Auch wenn die Daten von Totalisator und neuer Niederschlagsmessung zunächst nicht direkt übertragbar sind, so bieten die zeitlich besser aufgelösten Daten des Niederschlagsmessers an der Simonyhütte bereits jetzt einen detaillierteren Einblick in das Niederschlagsgeschehen am Hallstätter Gletscher.

Die Niederschlagssummen der einzelnen Monate sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Die Tabelle 4.2 zeigt die jährlichen Niederschlagssummen der Haushaltsjahre seit 2006/07, dem ersten Jahr der Messungen. Mit einem Jahresniederschlag von 2563 mm ist das Haushaltsjahr 2023/24 das 3. niederschlagsreichste Haushaltsjahr seit Beginn der Messungen am Hallstätter Gletscher. Es lag etwa 18% über dem Mittelwert der Jahre 2006/07 bis 2023/24 (2184 mm). Vor allem der starken Winterniederschlag der Monate November und April und der Niederschlag im September sind auffällig (Abb. 4.2).

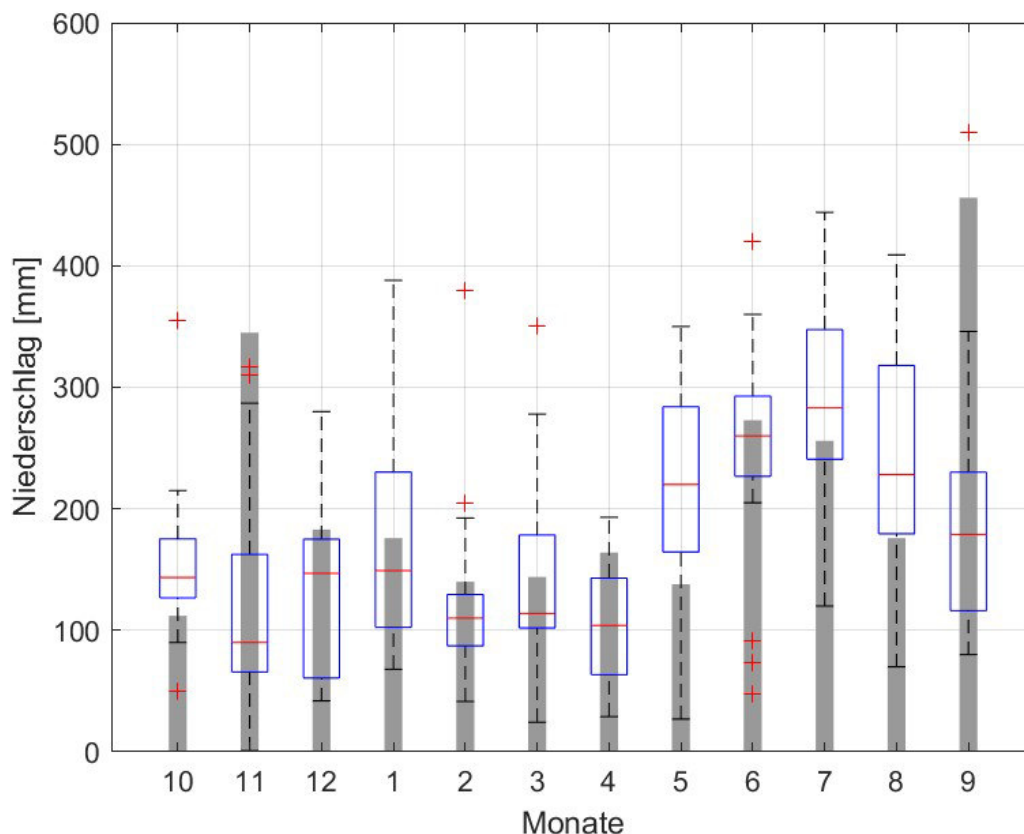


Abbildung 4.2: Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen des Haushaltsjahres 2023/24 (graue Balken) gegenüber der statistischen Verteilung der Monatsniederschläge von 2006 bis 2023. Die rote Linie kennzeichnet den Median, die blauen Boxen zeigen alle Werte innerhalb der 25% und der 75% Perzentile. Rote Kreuze zeigen davon deutlich abweichende Minimal- oder Maximalwerte.

| Datum      | Niederschlag [mm] |
|------------|-------------------|
| 31.10.2023 | 112               |
| 30.11.2023 | 345               |
| 31.12.2023 | 183               |
| 31.01.2024 | 176               |
| 29.02.2024 | 140               |
| 31.03.2024 | 144               |
| 30.04.2024 | 164               |
| 31.05.2024 | 138               |
| 30.06.2024 | 273               |
| 31.07.2024 | 256               |
| 31.08.2024 | 176               |
| 30.09.2024 | 456               |
| Gesamt     | 2563              |

Tabelle 4.1: Monatsniederschlag 2023/24.

| Haushaltsjahr              | Jahresniederschlag [mm] |
|----------------------------|-------------------------|
| 2006/07                    | 2615                    |
| 2007/08                    | 2259                    |
| 2008/09                    | 2710                    |
| 2009/10                    | 2290                    |
| 2010/11                    | 1850                    |
| 2011/12                    | 2287                    |
| 2012/13                    | 2381                    |
| 2013/14                    | 2474                    |
| 2014/15                    | 2383                    |
| 2015/16                    | 1968                    |
| 2016/17                    | 2251                    |
| 2017/18                    | 2020                    |
| 2018/19                    | 2045                    |
| 2019/20                    | 2029                    |
| 2020/21                    | 1641                    |
| 2021/22                    | 1942                    |
| 2022/23                    | 1620                    |
| 2023/24                    | 2563                    |
| Mittelwert 2006/07-2023/24 | 2184                    |

Tabelle 4.2: Jahresniederschlag 2006/07 bis 2023/24.

#### 4.2.6. Aktuelle Geländedaten

Mit Hilfe der vom Land Oberösterreich zur Verfügung gestellten Höhenmodelle auf Grundlage der Luftgestützten Laserscanningsaufnahmen 2018, sowie dem Orthofoto, konnte die Gletschergrenze neu aufgenommen und die aktuelle Höhe der Gletscherfläche bestimmt werden. Diese wurde aufgrund der raschen Zerfallerscheinungen an der mittleren Zunge für 2020 angepasst. Eine weitere Anpassung der Gletschergrenze erfolgte 2023 aufgrund der großflächigen Ausaperungen an der westlichen Zunge und unterhalb des Eissteins sowie weiteren Verlusten an den Gletscherzungen. Aufgrund der andauernden Flächenverluste sowie des weiteren Ausapern von Felsinsel wurde die Gletschergrenze für 2024 mithilfe von Sentinel-2 Satellitenbilder [8] erneut angepasst (Abb. 4.1). Die Gesamtfläche beträgt  $2,21 \text{ km}^2$  mit Stand 4. September 2024.

## 4.3. Auswertung

### 4.3.1. Winterbilanz

Die Winterbilanz bezieht sich auf den Zeitraum vom 01.10. eines Jahres bis zum 30.04. des darauffolgenden Jahres. Für die Winterbilanz wird zunächst der Wasserwert der Schneedecke an den Schachtpositionen aus dem Dichteprofil ermittelt. Anhand von Sondierungen wird die Höhe der Schneedecke gemessen. Unter Verwendung der mittleren Dichte aus den Schneeschächten wird der Wasserwert an den Sondierungspositionen berechnet. Wurde vor dem 01.10. bereits eine Schneedecke akkumuliert, so muss diese von den Bilanzwerten abgezogen werden. Zwischen den Punktmessungen wird der erhaltene Wasserwert der Winterschneedecke über die Fläche des Gletschers interpoliert. Die Verteilung der Winterbilanz ist in Abbildung 4.3 ersichtlich. Aus Tabelle 4.3 gehen Dichte und Wasserwert der Schächte hervor. Tabelle 4.4 zeigt die Werte der Winterbilanz nach Höhenstufen, gültig von 01.10.2023 bis 30.04.2024. Die Winterbilanz  $B_w$  wird durch Integration der spezifischen Bilanzen über die jeweiligen Flächen der Höhenstufen berechnet. Die mittlere spezifischen Winterbilanz  $b_w$  erhält man durch Division von  $B_w$  durch die Gesamtfläche.

$$B_w = 5898 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_w = 2700 \text{ mm WW}$$

| Schachtnummer | Tiefe [m] | Dichte [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] | Wasserwert [mm] |
|---------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|
| 2             | 5,04      | 485                               | 2446            |
| 3             | 7,02      | 487                               | 3419            |

Tabelle 4.3: Frühjahrsschächte 2024. Die angegebenen Schachttiefen sind die Gesamttiefen inklusive des im Herbst 2023 sowie zwischen 1. Mai 2024 und dem Messdatum gefallenen Neuschnees. Dieser ist im Wasserwert bereits berücksichtigt.

| Höhenstufe [m] | Fläche [ $\text{km}^2$ ] | Bilanz [ $10^3 \text{ m}^3$ ] | Wasserwert [mm] |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 2900 – 2950    | 0,000                    | 0,2                           | 3100            |
| 2850 – 2900    | 0,006                    | 17,8                          | 3086            |
| 2800 – 2850    | 0,023                    | 67,8                          | 2890            |
| 2750 – 2800    | 0,030                    | 84,7                          | 2827            |
| 2700 – 2750    | 0,132                    | 395,5                         | 2995            |
| 2650 – 2700    | 0,251                    | 717,8                         | 2861            |
| 2600 – 2650    | 0,434                    | 1297,9                        | 2989            |
| 2550 – 2600    | 0,509                    | 1392,9                        | 2735            |
| 2500 – 2550    | 0,326                    | 785,2                         | 2411            |
| 2450 – 2500    | 0,280                    | 629,1                         | 2249            |
| 2400 – 2450    | 0,142                    | 315,9                         | 2223            |
| 2350 – 2400    | 0,074                    | 173,8                         | 2352            |
| 2300 – 2350    | 0,008                    | 19,8                          | 2382            |
| Gesamt         | 2,215                    | 5898,4                        | 2662            |

Tabelle 4.4: Flächen- und Höhenverteilung der Winterbilanz 2023/24 (Gletscherfläche Stand 2024).

### Winterbilanz Hallstätter Gletscher 01.10.2023-30.04.2024

- Gletscherrand 2024
- Ablationspegel 2024
- ▲ Frühjahrschacht 2024
- Höhenstufen (50m; DEM 2018)

#### Wasserwert [cm]

- 90
- 91 - 110
- 111 - 130
- 131 - 160
- 161 - 190
- 191 - 210
- 211 - 230
- 231 - 250
- 251 - 270
- 271 - 290
- 291 - 310
- 311 - 330
- 331 - 350
- 351 - 370

0 0.5 1 Km

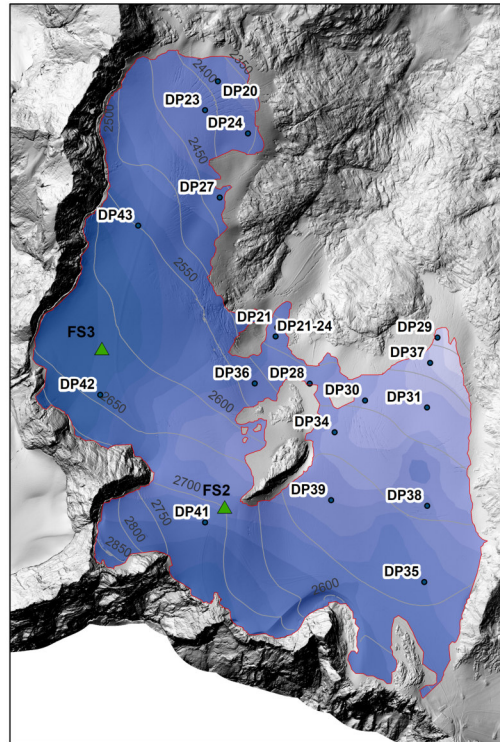


Abbildung 4.3: Flächen gleichen Wasserwertes der Winterbilanz 2023/24.

### 4.3.2. Jahresbilanz

Für die Massenbilanz des hydrologischen Jahres vom 01.10. bis 30.09. werden zusätzlich zu den ermittelten Rücklagen an den Schneeschächten die Messwerte der Ablation an den Pegeln hinzugezogen (Tab. 4.5). An den Pegeln wird anhand des über die Ablationssaison freigelegten Endes unter Verwendung der mittleren Dichte von Eis  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$  der Massenverlust an der Eisoberfläche ermittelt. Entsprechend der Winterbilanz wird der Wasserwert an den Schachtpositionen berechnet (Tab. 4.6). Aus den Sondierungen der Altschneedecke, Fotos, Webcam-Bildern und den Wasserwerten an Schächten und Pegeln wird eine Karte mit Isoflächen gleicher spezifischer Massenbilanz erstellt (Abb. 4.4). Über die Flächen-Höhenverteilung der spezifischen Bilanz wird die mittlere spezifische Bilanz der einzelnen Höhenstufen berechnet (Tab. 4.7, Abb. 4.5). Durch Integration der jeweiligen Flächen in den Höhenstufen mit ihren zugehörigen mittleren spezifischen Bilanzen wird die Nettojahresbilanz  $B$  berechnet. Nach Division dieser durch die Gesamtfläche des Gletschers erhält man die mittlere spezifische Jahresbilanz  $b$ .

$$B = -3372,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b = -1522 \text{ mm WW}$$

| Pegelnummer | Wasserwert [mm] | Pegelnummer | Wasserwert[mm]        |
|-------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| DP 20       | -3541           | DP 34       | -2871                 |
| DP 21       | -3970           | DP 35*      | -460                  |
| DP 21-24    | -3943           | DP 36       | -2972                 |
| DP 23       | -2749           | DP 37       | -5166                 |
| DP 24       | -2560           | DP 38       | -2357                 |
| DP 27       | -2776           | DP 39       | -1932                 |
| DP 28       | -2509           | DP 41       | gebohrt am 28.08.2024 |
| DP 29       | -4371           | DP 42       | gebohrt am 28.08.2024 |
| DP 30       | -2978           | DP 43       | gebohrt am 28.08.2024 |
| DP 31       | -3226           |             |                       |

\* entspricht nur die Periode 28.08-20.09.2024

Tabelle 4.5: Wasserwerte der Massenbilanz an den Pegeln (01.10.2023-30.09.2024)



| Schachtnummer | Tiefe [m] | Dichte [ $kg/m^3$ ] | Wasserwert [mm] |
|---------------|-----------|---------------------|-----------------|
| Schacht 3     | 1,11      | 366                 | 395             |

Tabelle 4.6: Herbstschacht 2024. Die angegebenen Schachttiefe besteht ausschließlich aus Rücklage (Schneefallereigniss 12.-16.9.2024). Der im Herbst 2023 bereits gefallene Neuschnee ist im Wasserwert bereits berücksichtigt

| Höhenstufe [m] | Fläche [ $km^2$ ] | Bilanz [ $10^3 m^3$ ] | Wasserwert [mm] |
|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 2900 – 2950    | 0,000             | 0,1                   | 750             |
| 2850 – 2900    | 0,006             | 4,3                   | 750             |
| 2800 – 2850    | 0,023             | 17,5                  | 744             |
| 2750 – 2800    | 0,030             | 12,2                  | 408             |
| 2700 – 2750    | 0,132             | -31,1                 | -236            |
| 2650 – 2700    | 0,251             | -152,6                | -608            |
| 2600 – 2650    | 0,434             | -305,5                | -703            |
| 2550 – 2600    | 0,509             | -806,5                | -1584           |
| 2500 – 2550    | 0,326             | -751                  | -2306           |
| 2450 – 2500    | 0,280             | -665,6                | -2380           |
| 2400 – 2450    | 0,142             | -428,3                | -3014           |
| 2350 – 2400    | 0,074             | -237,9                | -3218           |
| 2300 – 2350    | 0,008             | -27,8                 | -3338           |
| Gesamt         | 2,215             | -3372,2               | -1522           |

Tabelle 4.7: Flächen- und Höhenverteilung der Jahresbilanz 2023/24.

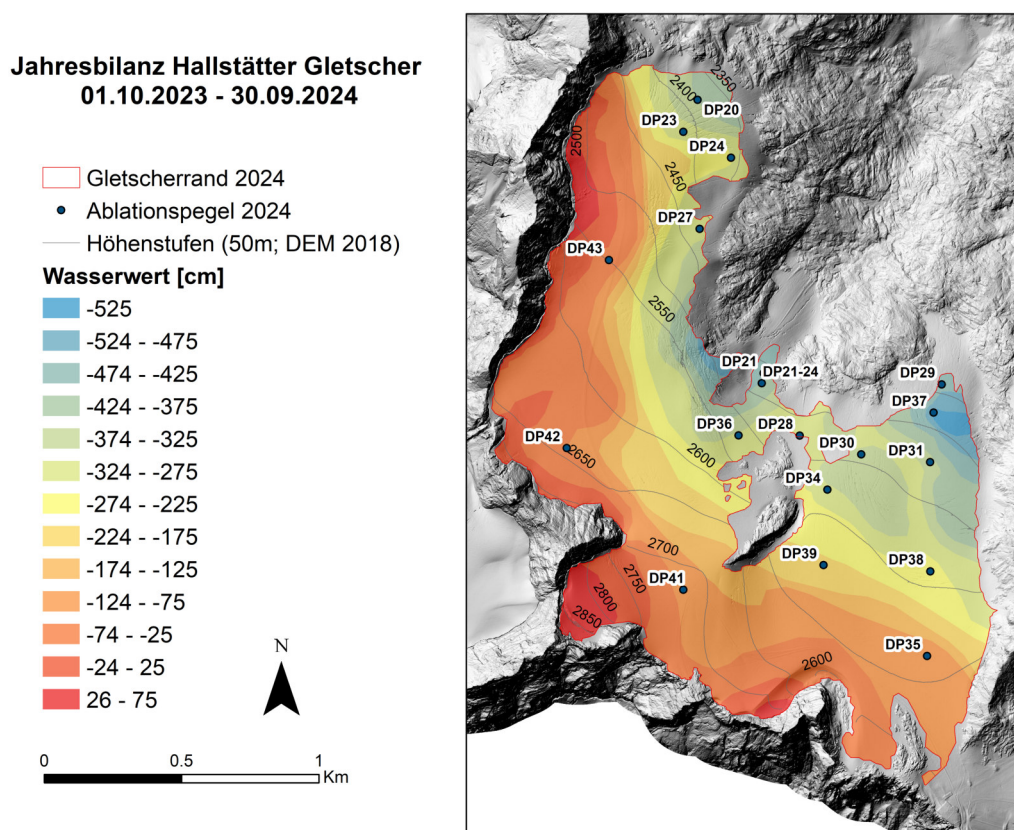


Abbildung 4.4: Flächen gleichen Wasserwertes der Jahresbilanz 2023/24.

Die Massenbilanz 2023/24 reiht sich als die fünft-negativste gemessene Bilanz in der 18-jährigen Messreihe ein. Die Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA - equilibrium line altitude) lag mit 2743 Meter ca. 50 m niedriger als im vergangenen Jahr. Zum Maximum der Ausaperung war der Hallstätter Gletscher zu 11% mit Rücklagen aus dem vergangenen Winter bedeckt. Dieser Zustand ist im Haushaltsjahr 2023/2024 vor dem Schneefall Mitte September erreicht worden (Vgl. Abb. A.8 und Abb. A.11). Nach einer überdurchschnittlichen Akkumulation im Winter von rund 117%, die sich bis Ende Mai erstreckte, kam es zu einem zügigen Abbau der Schneedecke ab Mitte Juni. Diese wurde durch die Saharastaubschichten und die überdurchschnittlichen Sommertemperaturen weiter beschleunigt. Erst der Schneefall Mitte September setzte die Schmelze herab. Die Ablation erreichte über die gesamte Gletscherfläche verteilt hohe Werte (Tab. 4.5, Abb. 4.4).

Im Mittel über die gesamte Messzeitreihe (2006/07-2023/24) beträgt die Massenbilanz -1214 mm WW. Die vergangene Saison war damit um rund 25% negativer als das Mittel der gesamten Zeitreihe über 18 Jahre (Abb. 4.7). Die Winterbilanz lag 31% über dem Mittel, und die Sommerbilanz war knapp 29% negativer als das Mittel aller Sommerbilanzen bis 2023 ausfiel. Aus der Kombination von gering unterdurchschnittlicher Akkumulation und überdurchschnittlich negativer Sommerbilanz ergab sich die fünft-negativste Massenbilanz in der gesamten Zeitreihe.

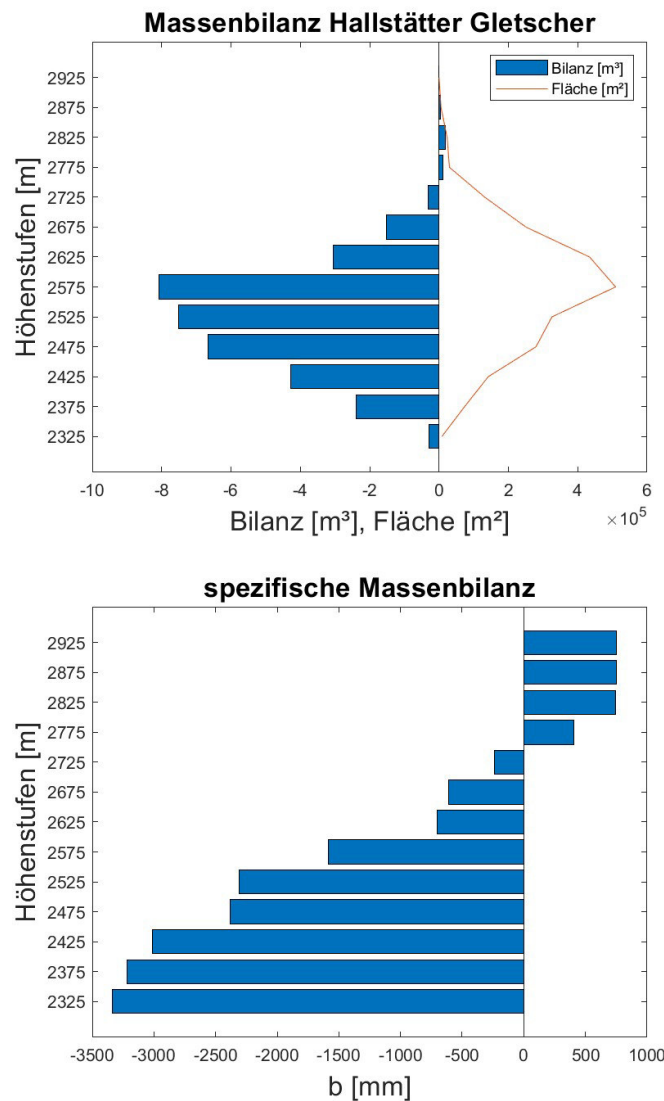


Abbildung 4.5: Nettobilanz (B) und Flächenverteilung nach Digitalem Geländemodell 2018 mit Gletschergrenze 2024 sowie die mittlere spezifische Bilanz (b) der Höhenstufen im mm WW.

### 4.3.3. Sommerbilanz

Die Sommerbilanz ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Massenhaushalt des hydrologischen Jahres und der Winterbilanz.

$$b_s = b - b_w$$

Für die Sommerbilanz ergeben sich daher folgende Werte:

$$B_s = -9270,8 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$b_s = -4184 \text{ mm WW}$$

Somit ist die Sommerbilanz 2024 die zweitnegativste seit Messbeginn nach der Sommerbilanz 2021/22.

## 4.4. Online Massenbilanz

Seit Frühjahr 2020 ist auf der Seite [www.dachsteingletscher.info](http://www.dachsteingletscher.info) für jeden Tag im Jahr der aktuelle Stand der Massenbilanz am Hallstätter Gletscher einsehbar. Als Grundlage dient eine Modellierung, welche die meteorologischen Daten der umliegenden Stationen Simonyhütte, Feuerkogel, Krippenstein und Ramsau einbezieht. Diese Modellierung wurde an den gemessenen Massenbilanzdaten aller bisherigen Messungen kalibriert. In Abbildung 4.6 ist der modellierte Verlauf des Massenhaushaltes 2023/24 zu sehen. Zusätzlich zu den Linien der Akkumulation, der Ablation sowie der daraus berechneten Massenbilanz ist die Bandbreite der einzelnen Massenbilanzjahre und der resultierende Mittelwert farblich hinterlegt.

Im Haushaltsjahr 2023/24 stellten die Eingangsdaten des Niederschlags noch eine Herausforderung dar. Die modellierte Massenbilanz ist um ca. 600 mm WW positiver als die gemessene Massenbilanz. Das ergibt sich aus einigen Überschätzungen des Modells. Laut dem Modell steigt die Akkumulation ab 1. Juni bis Mitte September noch um 200-300 mm WW, obwohl der Niederschlag in diesem Zeitraum nur als Regen fiel. Die Ablation startet am 1. Mai schon mit 100 mm WW, die sich zu den Sommerwerten aufsummieren. Außerdem ist die Niederschlagsmenge im September im Modell mit 500 mm WW noch zu hoch, vor allem wenn man das mit dem Wert aus der Herbstschicht vergleicht (ca. 300 mm WW). Damit werden nochmal 200 mm WW vom Modell zur Massenbilanz dazu gerechnet. Die Messdaten 2023/2024 werden in eine weitere Verbesserung des Modells eingehen.

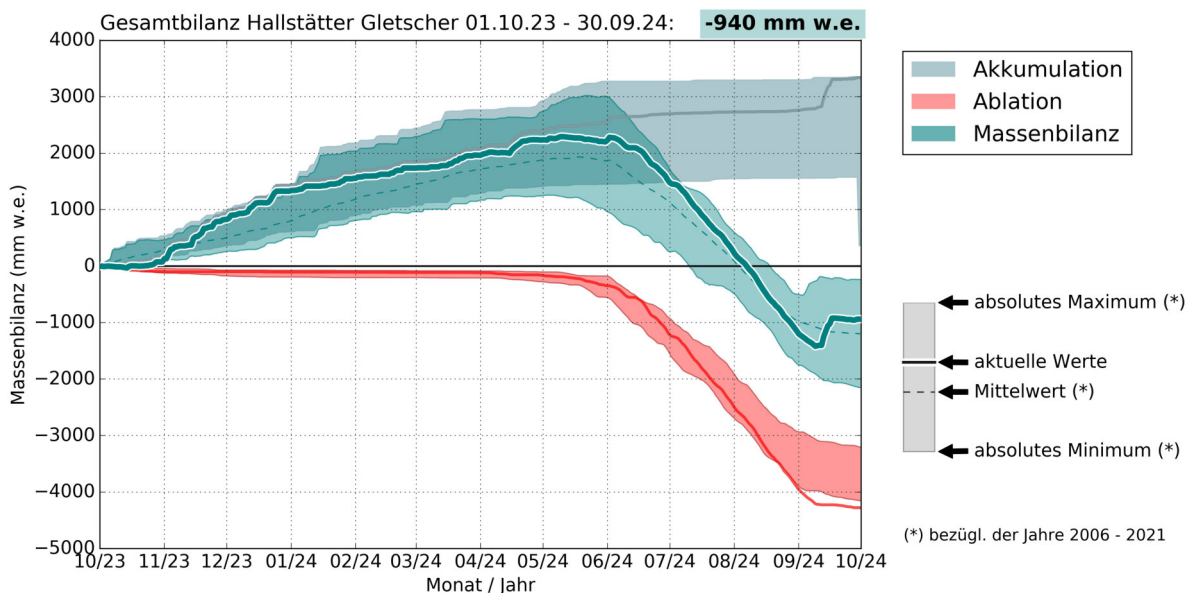


Abbildung 4.6: Zeitliche Verlauf der Akkumulation (grau), Ablation (rot) und daraus berechneten Massenbilanz (grün) des Hallstätter Gletschers im Haushaltsjahr 2023/24 (w.e. = Wasserwert, engl. water equivalent).

## 4.5. Besonderheiten 2024

Am 21. August fand die jährliche Presseinformation zur Situation der Dachsteingletscher statt. Das Projekt zielt darauf ab der Öffentlichkeit Informationen und Ergebnisse des Projektes über unterschiedlichste Medienkanäle zu Präsentieren. Eingeladen wurde von der Umwelt- und Klimaabteilung des Landes OÖ Büro LR Kaineder auf die Bergstation Hunerkogel von welcher man einen imposanten Blick über den Schladminger- und Hallstätter Gletscher hat. Anwesend waren „Hausherr“ Dir. Georg Bliem (Planai Bahnen), Klimaschutzministerin Leonore Gewessler, LR Stefan Kaineder, MMag<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> Andrea Fischer, Mag. Michael Mondria, Mag. Klaus Reingruber (Abb. A.23; A.25). Den Medienvertretern wurde die aktuelle Situation anhand den Messwerten und Ergebnissen der Massenbilanz des Hallstätter Gletschers präsentiert. Die außergewöhnliche klimatologische Situation und der dadurch beschleunigten Gletscherschmelze und folglich massiven Veränderungen wurde dargestellt. In der Bergstation auf 2.700 Höhenmetern wurden, finanziert vom Land Oberösterreich, zwei Installationen entwickelt: Ein interaktiver Touchscreen visualisiert Daten und Fakten zu klimabedingten Veränderungen der Region Dachstein, die aus der App „APPTauen“ Dachsteingletscher (Land Oberösterreich) stammen – und speziell für die großflächige Darstellung am Touchscreen erweitert wurden (A.24). Im Panoramarestaurant kann das Digitale Fernrohr ausprobiert werden: Der Blick in die reale Berglandschaft wird ergänzt von einer digitalen Ebene (Overlay), die sich je nach Bewegung am Drehrad des Fernrohres verändert und Informationen einspielt. Besucher:innen erhalten einen völlig neuen Blick auf die Gipfelkette, die imposante 850 Meter hohe Dachstein-Südwand oder das Abschmelzen des Gletschers am Rosmarie Stollen. <https://www.apptauen.at/>

Am 22. September fand eine Diskussionsveranstaltung zum Thema „Glaziologie“ im Rahmen des Projekts „Signal vom Dachstein“, organisiert vom Festival La Strada Graz. „Signal vom Dachstein“ ist ein weitreichendes, multidisziplinäres Projekt an der Schnittstelle von Kunst und Wissenschaft, das sich auf sensible Weise mit dem Naturraum des Dachsteingletscher und der Zukunft des klimasensiblen Alpenraums auseinandersetzt. Dabei wurden seit 2021 fünf lokale Künstler:innen in der Entwicklung ihrer Arbeit unterstützt und in engen Austausch mit der lokalen Bevölkerung, erfahrenen Künstler:innen als Mentor:innen, und internationalen Kontakten gebracht. Im Jahr 2024 fand das Projekt seinen Höhepunkt und wurde in der Dachsteinregion in verschiedenen Formaten sichtbar: als künstlerische Installation im Schloss Trautenfels und als Veranstaltungs- und Diskussionsreihe an der verschiedenen Orten in der Region. Die Diskussionsveranstaltung wurde mit Musik von Toni Burger und klanglich-künstlerischen Beiträgen von Katharina Pfennich auf der Seethalerhütte begleitet. Außerdem präsentierte die Klangkünstlerin Katharina Pfennich ein Soundscape, das im Rahmen des Projekt entstanden ist. Giulia Bertolotti nahm an der Diskussion als Glaziologin teil (Abb. A.26).

<https://www.lastrada.at/project/signalvomdachstein>

Wie auch in den Vorjahren sind die Aufnahmen der 2021 neu installierten Webcam an der Simonyhütte mit eine Aktualisierung aller 10 Minuten abrufbar und werden von foto-webcam.eu auf zur Verfügung gestellt:

<https://www.foto-webcam.eu/webcam/simonyhuette/>

## 4.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 4.8 zeigt die Beziehung zwischen Jahres-, Winter- und Sommerbilanz am Hallstätter Gletscher auf. Das Massenhaushaltsjahr 2023/24 reiht sich mit  $-1522$  mm WW als das fünft-negativste Massenbilanz seit Beginn der Messung ein. Die Massenverluste lagen rund beim 1,25-fachen des bisherigen Durchschnitts.

Die Bilanz des Massenhaushaltsjahres 2023/24 haben folgende Prozesse maßgeblich bestimmt: (1) starke Schneeakkumulation im November und April; (2) kühle und wechselhafte Witterung im Frühjahr; (3) hohe Temperaturen und andauernde Schmelze von Juni bis mitte September; (4) Unterbrechung der Eisablation Mitte September.

Der Vergleich der Ergebnisse mit den vorangegangenen Massenhaushaltsjahren zeigt, dass trotz der überdurchschnittlich positiven Winterbilanz, die stark negative Sommerbilanz 2023/24 zu einer der Top5 der negativen Bilanzen geführt hat (Abb. 4.7). Die spezifische Sommerbilanz erwies sich als die zweitnegativste seit Messbeginn im Jahr 2006/07. Setzt man den Massenverlust 2023/24 ins Verhältnis zur mittleren Eisdicke, so hat der Hallstätter Gletscher in diesem Jahr rund 5% seines Volumens verloren.

|         | Jahresbilanz | Winterbilanz | Sommerbilanz | Einheit    |
|---------|--------------|--------------|--------------|------------|
| $S_c$   | 0,261        |              |              | $km^2$     |
| $B_c$   | 99,40        |              |              | $10^3 m^3$ |
| $b_c$   | 381          |              |              | mm WW      |
| $S_a$   | 1,955        |              |              | $km^2$     |
| $B_a$   | -3471,7      |              |              | $10^3 m^3$ |
| $b_a$   | -1776        |              |              | mm WW      |
| $S$     | 2,215        | 2,215        | 2,215        | $km^2$     |
| $B$     | -3372,3      | 5898,5       | -9270,8      | $10^3 m^3$ |
| $b$     | -1522        | 2662         | -4184        | mm WW      |
| $S_c/S$ | 0,12         |              |              |            |
| ELA     | 2743         |              |              | m          |

Tabelle 4.8: Kennzahlen der Jahres-, Winter- und Sommerbilanz 2023/24.

|           | $S_c$<br>$km^2$ | $B_c$<br>$10^6 m^3$ | $b_c$<br>mm WW | $S_a$<br>$km^2$ | $B_a$<br>$10^6 m^3$ | $b_a$<br>mm WW | $S$<br>$km^2$ | $B$<br>$10^6 m^3$ | $b$<br>mm WW | ELA<br>m | $S_c/S$ |
|-----------|-----------------|---------------------|----------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|-------------------|--------------|----------|---------|
| 2006/2007 | 1.49            | 1.68                | 1125           | 1.55            | -2.55               | -1646          | 3.04          | -0.88             | -289         | 2581     | 0.490   |
| 2007/2008 | 1.49            | 0.60                | 400            | 1.55            | -2.72               | -1756          | 3.04          | -2.13             | -700         | 2592     | 0.490   |
| 2008/2009 | 1.03            | 0.59                | 570            | 1.99            | -3.37               | -1699          | 3.01          | -2.79             | -924         | 2616     | 0.341   |
| 2009/2010 | 1.46            | 0.80                | 551            | 1.56            | -2.91               | -1867          | 3.02          | -2.11             | -700         | 2588     | 0.483   |
| 2010/2011 | 0.14            | 0.02                | 125            | 2.88            | -6.08               | -2113          | 3.02          | -6.07             | -2011        | 2822     | 0.046   |
| 2011/2012 | 0.96            | 0.29                | 308            | 2.06            | -4.00               | -1944          | 3.02          | -3.70             | -1228        | 2664     | 0.318   |
| 2012/2013 | 1.39            | 1.19                | 854            | 1.62            | -2.25               | -1383          | 3.02          | -1.06             | -351         | 2584     | 0.461   |
| 2013/2014 | 1.60            | 0.69                | 431            | 1.23            | -1.47               | -1192          | 2.84          | -0.78             | -274         | 2551     | 0.556   |
| 2014/2015 | 0.05            | 0.01                | 125            | 2.79            | -5.83               | -2093          | 2.83          | -5.82             | -2054        | ****     | 0.017   |
| 2015/2016 | 0.95            | 0.40                | 425            | 1.89            | -3.61               | -1910          | 2.83          | -3.20             | -1130        | 2646     | 0.334   |
| 2016/2017 | 0.68            | 0.36                | 527            | 2.16            | -3.74               | -1736          | 2.83          | -3.38             | -1194        | 2644     | 0.239   |
| 2017/2018 | 0.30            | 0.54                | 181            | 2.54            | -5.31               | -2091          | 2.84          | -5.25             | -1854        | 2808     | 0.105   |
| 2018/2019 | 1.23            | 0.87                | 710            | 1.41            | -2.33               | -1659          | 2.64          | -1.46             | -554         | 2580     | 0.466   |
| 2019/2020 | 0.36            | 0.05                | 125            | 2.26            | -3.82               | -1691          | 2.62          | -3.78             | -1440        | 2812     | 0.138   |
| 2020/2021 | 0.47            | 0.07                | 150            | 2.15            | -3.29               | -1530          | 2.62          | -3.22             | -1228        | 2798     | 0.180   |
| 2021/2022 | 0.00            | 0.00                | 0              | 2.45            | -6.37               | -2602          | 2.45          | -6.37             | -2602        | ****     | 0.000   |
| 2022/2023 | 0.16            | 0.06                | 370            | 2.21            | -4.31               | -1951          | 2.37          | -4.25             | -1797        | 2820     | 0.066   |
| 2023/2024 | 0.26            | 0.10                | 381            | 1.96            | -3.47               | -1776          | 2.22          | -3.37             | -1522        | 2743     | 0.118   |

Tabelle 4.9: Vergleich der 18 gemessenen Jahresbilanzen des Hallstätter Gletschers.

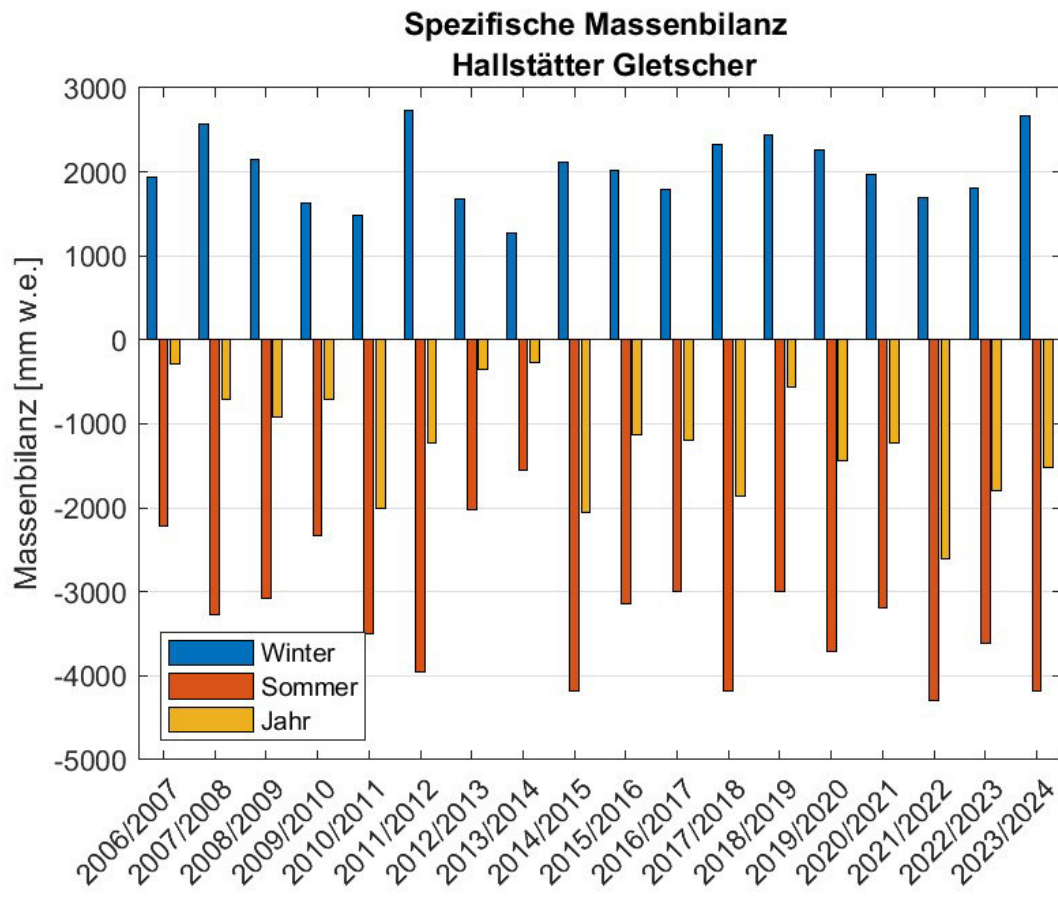


Abbildung 4.7: Die mittlere spezifische Massenbilanz (b) für den Winterzeitraum (1.10.-30.4., blau) für den Sommerzeitraum (1.5.-30.9., rot) und für das gesamte hydrologische Jahr (1.10.-30.9., orange) seit Beginn der Messungen am Hallstätter Gletscher (w.e. = Wasserwert, engl. water equivalent).

# A

## Anhang

### A.1. MitarbeiterInnen und Danksagung

Die Feldarbeiten wurden von Giulia Bertolotti, Klaus Reingruber, Andreas Gschwentner, Elke Lemmerer, Fabian Igelsböck, Erwin Kraus, Michael Backmann und Martin Stocker-Waldhuber durchgeführt. Das Team wurde in Logistik und Transport regelmäßig durch Mitarbeiter der Dachstein Gletscherbahn der Planai-Hochwurzen Bahnen GmbH unterstützt. Wir danken für die Bereitstellung der jeweils aktuellsten Geodaten (Höhenmodell und Orthofoto) sowie alle weiterführende Unterstützung seitens des Land Oberösterreich. Die Auswertung und der Bericht stammen von G. Bertolotti, K. Reingruber und K. Helfricht.



### A.2. Definitionen

|         |   |       |                                    |
|---------|---|-------|------------------------------------|
| $S$     | gesamte Gletscherfläche                       | $B$   | Gesamtjahresbilanz                 |
| $b$     | spezifische Massenbilanz                      | $S_a$ | Fläche des Ablationsgebiets        |
| $B_a$   | Gesamtbilanz Ablationsgebiet                  | $b_a$ | spezifische Bilanz Ablationsgebiet |
| $S_c$   | Fläche des Akkumulationsgebiets               | $B_c$ | Gesamtbilanz Akkumulationsgebiet   |
| $b_c$   | spezifische Bilanz Akkumulationsgebiet        | $w$   | als Index bedeutet Winter          |
| $s$     | als Index bedeutet Sommer                     | $ELA$ | Höhe der Gleichgewichtslinie       |
| $S_c/S$ | Verhältnis Akkumulationsfläche - Gesamtfläche | $WW$  | Wasserwert                         |

Tabelle A.1: Notationen die in dieser Arbeit verwendet werden.

$$S = S_c + S_a \quad (\text{A.1})$$

$$B = B_c + B_a \quad (\text{A.2})$$

Für die spezifischen Bilanzen gelten folgende Beziehungen:

$$b = b_w + b_s \quad (\text{A.3})$$

$$b_s = b - b_w \quad (\text{A.4})$$

$$b_w = B_w / S \quad (\text{A.5})$$

$$b_s = B_s / S \quad (\text{A.6})$$

$$b_c = B_c / S_c \quad (\text{A.7})$$

$$b_a = B_a / S_a \quad (\text{A.8})$$

Tabelle A.2: Zur Massenhaushaltsbestimmung gültige Beziehungen.



### A.3. Fotos



Abbildung A.1: Auswirkungen des ersten Saharastaub-Ereigniss am 01.04.2024 auf der Schneedecke des Hallstätter Gletschers. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.2: Der Hallstätter Gletscher zum Zeitpunkt der hydrologischen Winterbilanz am 30.04.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.3: Der Hallstätter Gletscher zum Zeitpunkt der Frühjahrsbegehung am 01.05.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.4: Erste Ausaperung der Eisoberfläche im Bereich des Eisbruchs und an der östlichen Zunge am 18.06.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.5: Der Hallstätter Gletscher am 14.07.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.6: Ausaperung des Hallstätter Gletschers zum Zeitpunkt der Pegelablesung am 31.07.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.7: Ausaperung des Hallstätter Gletschers zum Zeitpunkt der Pegelablesung am 28.08.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.8: Hallstätter Gletscher nahe der maximalen Ausaperung am 04.09.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.9: Schneedecke am Hallstätter Gletscher am 17.09.2024 als Folge der Niederschlagsperiode 12.-16.09.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.10: Der Hallstätter Gletscher zum Zeitpunkt der Herbstbegehung am 23.09.2024. Foto von der Webcam an der Simonyhütte (foto-webcam.eu).



Abbildung A.11: Sentinel-2 Aufnahme des Hallstätter Gletscher nahe der maximalen Ausaperung am 04.09.2024 (<https://dataspace.copernicus.eu/browser>).



Abbildung A.12: Arbeiten am Frühjahrsschacht FS3 am 01.05.2024. Foto: Andreas Gschwentner.



Abbildung A.13: Frühjahrsschacht FS2 oberhalb des Eisstein am 01.05.2024 Foto: Michael Backmann.



Abbildung A.14: Frühjahrsschacht FS3. Foto: Andreas Gschwentner.





Abbildung A.15: Messung der Schneehöhe mittels Bodenradar bei der Frühjahrsbegehung am 02.05.2024. Foto: Klaus Reingruber.



Abbildung A.16: Beim Pegelbohren auf der östlichen Zunge am 31.07.2024. Foto: Klaus Reingruber.



Abbildung A.17: Beim Pegelbohren zwischen Eisstein und Seethalerhütte (DP 41) am 28.08.2024. Foto: Giulia Bertolotti.



Abbildung A.18: Giulia Bertolotti beim Ablesen eines Ablationspegels an der westlichen Zunge am 28.08.2024. Foto: Andreas Gschwentner.



Abbildung A.19: Giulia Bertolotti und Martin Stocker-Waldhuber beim Ablesen eines Ablationspegels an der östlichen Zunge bei der Herbstbegehung am 23.09.2024. Foto: Andreas Gschwentner.



Abbildung A.20: Der Herbstschacht HS2, bei DP 41. Foto: Andreas Gschwentner.



Abbildung A.21: Die Wetterstation bei der Simonyhütte am 28.08.2024. Foto: Andreas Gschwentner.

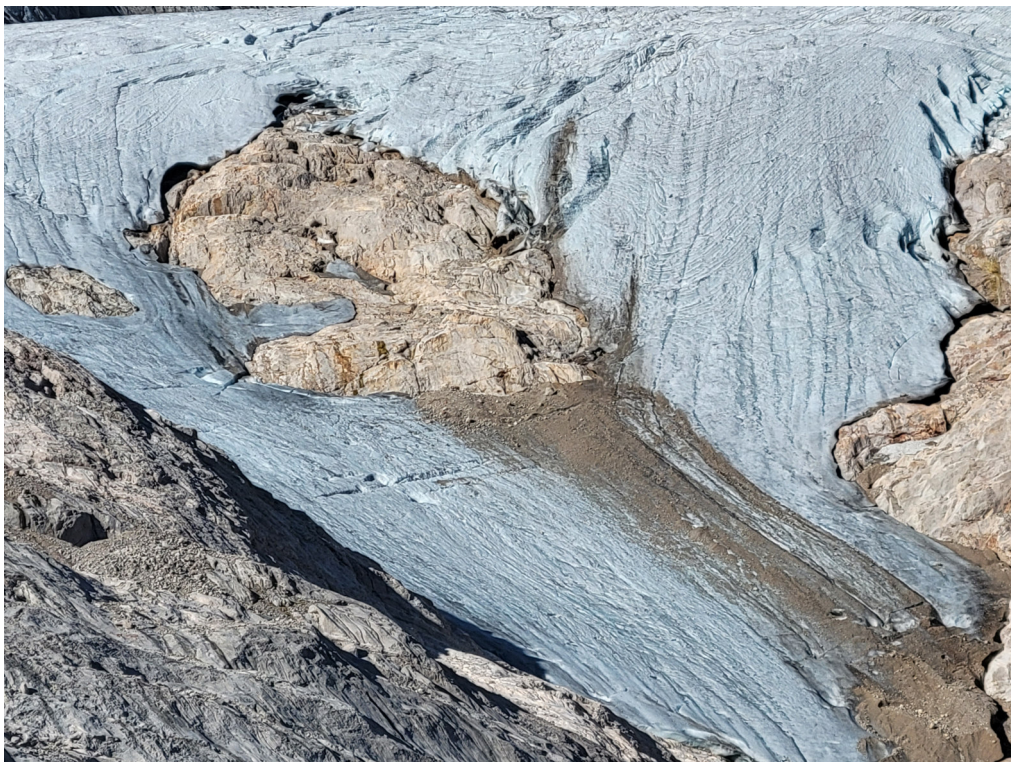


Abbildung A.22: Felsinsel an der mittlere Zunge. Foto: Klaus Reingruber.





Abbildung A.25: LR Stefan Kaineder, MMag<sup>a</sup> Dr.<sup>in</sup> Andrea Fischer, Klimaschutzministerin Leonore Gewessler und Mag. Klaus Reingruber am Hallstätter Gletscher während der jährlichen Presseinformation zur Situation der Dachsteinsteingletscher am 21.08.2024. Foto: Werner Dedl, Land OÖ.



Abbildung A.26: Diskussionsveranstaltung „Signal vom Dachstein - Glaziologie“ an der Seethalerhütte am 22.09.2024. Von links nach rechts: Toni Burger, Katharina Pfennich, Giulia Bertolotti, Werner Schrempf. Foto: La Strada Graz.



Abbildung A.27: Titelbild: Hallstätter Gletscher mit Hohen Dachstein und Dirndl am 30.08.2024. Foto: Klaus Reingruber.

# Literaturverzeichnis

- [1] IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. In: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, in press.
- [2] 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, doi:10.5194/tc-9-753-2015. <http://www.the-cryosphere.net/9/753/2015/>.
- [3] Helfricht, K., M. Huss, A. Fischer and J.C. Otto, 2019: Calibrated Ice Thickness Estimate for All Glaciers in Austria. *Frontiers in Earth Science*, **7**, , doi:10.3389/feart.2019.00068. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2019.00068>.
- [4] Fischer, A., K. Helfricht, und K. Reingruber, 2009: Gletscher, Klima und nachhaltige Entwicklung am Beispiel des Hallstätter Gletschers. *Landschaften und nachhaltige Entwicklung*, **2**, 1–16.
- [5] Helfricht, K., 2009: Veränderungen des Massenhaushaltes am Hallstätter Gletscher seit 1856. Master's thesis, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.
- [6] Hoinkes, H., 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **6**, 37–90.
- [7] Cuffey K.M. und W.S.B. Paterson, 2010: *The physics of glaciers*. (4rd ed.). Amsterdam, etc., Academic Press. 704pp.
- [8] European Space Agency (ESA), 2023: Sentinel-2 Imagery: Tile ID: T32TLP, Date: 2024-09-04. Copernicus Open Access Hub, accessed 2024-10-21. URL: <https://scihub.copernicus.eu/>