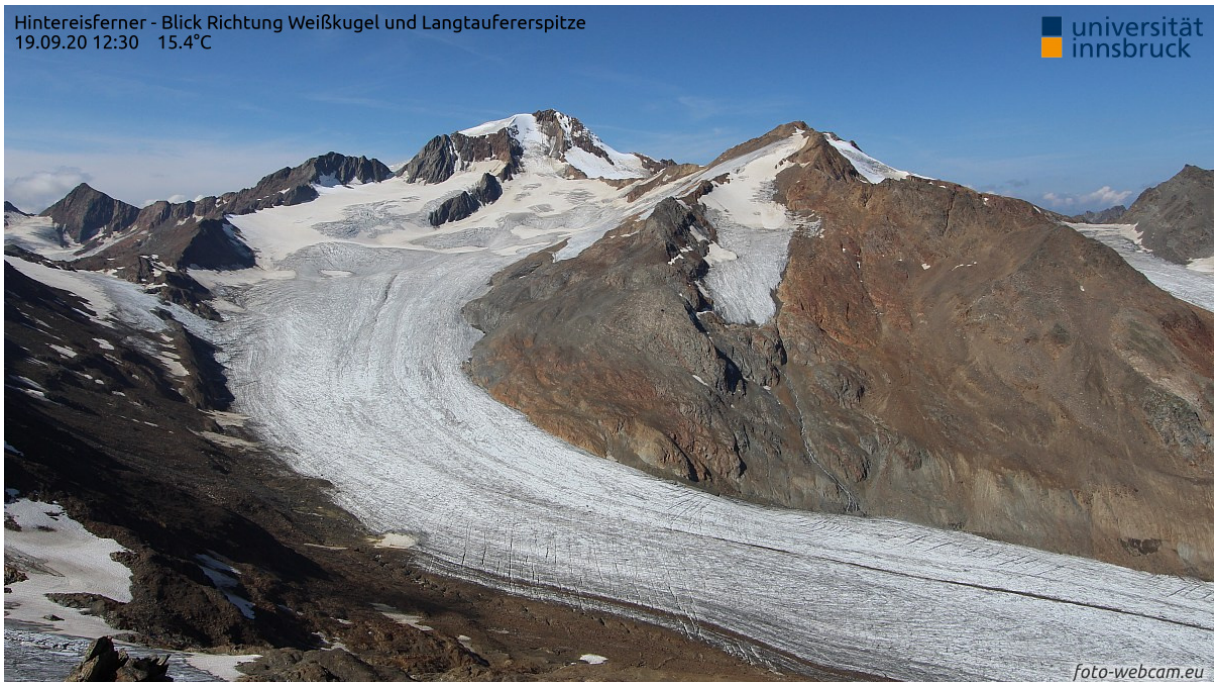


---

# HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

---

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2019/20  
- inklusive der Auswertungen der Niederschlagsmessung im Rofental



*Der Hintereisferner zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung am 19.09.2020. Foto: automatische Kamera im Hinteren Eis*

---

# HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

---

## Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2019/20

Innsbruck, im November 2020

im Auftrag von:  
Land Tirol, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie  
Herrengasse 1–3  
A-6020 Innsbruck/Austria

Zusätzliche finanzielle Mittel wurden durch das Rektorat sowie durch das Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck erbracht.

Projektleitung: Univ. Prof. Dr. Mathias Rotach  
Koordination der Feldarbeiten, Auswertungen und Bericht: Mag. Rainer Prinz, PhD

Kontakt: Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck  
Innrain 52f, 6020 Innsbruck  
E-mail: [rainer.prinz@uibk.ac.at](mailto:rainer.prinz@uibk.ac.at)  
Tel.: (+43) 0512 507 54415  
Fax.: (+43) 0512 507 54599

Das Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck erhebt seit 1952 den Massenhaushalt des Hintereis- und seit 1965 den Massenhaushalt des Kesselwandfeners unter Anwendung der direkten glaziologischen Methode.

Der vorliegende Bericht ist eine Zusammenfassung der Arbeiten und Ergebnisse aus dem hydrologischen Haushaltsjahr 2019/20.

## Inhaltsverzeichnis

|       |   |      |
|-------|---|------|
| A.    | Zusammenfassung .....   | A-1  |
| B.    | Einleitung.....   | B-1  |
| B.1   | Lage des Untersuchungsgebietes.....   | B-1  |
| B.2   | Methodik.....   | B-1  |
| B.3   | Messnetz .....  | B-4  |
| C.    | Analysen und Ergebnisse.....  | C-1  |
| C.1   | Witterung im Haushaltsjahr .....  | C-1  |
| C.2   | Massenbilanz Hintereisferner .....  | C-4  |
| C.2.1 | Winterbilanz .....  | C-4  |
| C.2.2 | Jahresbilanz .....  | C-6  |
| C.2.3 | Geodätische Massenbilanz.....   | C-8  |
| C.3   | Atmosphärische Deposition am Hintereisferner.....                               | C-9  |
| C.4   | Massenbilanz Kesselwandferner .....   | C-13 |
| C.5   | Niederschlagsmessungen im Rofental.....   | C-18 |
| C.5.1 | Vergleich der Niederschlagsmessungen im Rofental.....                           | C-20 |
| C.6   | Literaturverzeichnis .....  | C-22 |
| C.7   | Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole .....                              | C-23 |
| D.    | Anhang .....  | D-1  |
| D.1   | Geleistete Arbeiten.....  | D-1  |
| D.1.1 | Feldkampagnen.....  | D-1  |
| D.1.2 | Messungen und Analysen.....   | D-1  |
| D.2   | Dokumentation der Feldarbeiten am Hintereisferner und am Kesselwandferner ..... | D-2  |
| D.2.1 | Feldkampagne 07.05.2020 – Winterbilanz am HEF .....                             | D-2  |
| D.2.2 | Feldkampagne 08.07.2020 .....   | D-6  |
| D.2.3 | Feldkampagne 30.07. – 01.08.2020 .....  | D-7  |
| D.2.4 | Feldkampagne 19.+20.08.2020: KWF .....  | D-9  |
| D.2.5 | Feldkampagne 09.+10.09.2020.....  | D-10 |
| D.2.6 | Feldkampagne 01.10.2020: HEF Abschluss .....                                    | D-12 |
| D.2.7 | Feldkampagne 01.10.2020: KWF Abschluss .....                                    | D-15 |
| D.3   | Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental .....              | D-17 |

---

|       |  |      |
|-------|--|------|
| D.3.1 | Die Regenmesser im Rofental.....                   | D-17 |
| D.3.2 | Feldkampagne 03.12.2019: Station Hintereis .....   | D-18 |
| D.3.3 | Feldkampagne 02.01.2020: Im Hinteren Eis.....      | D-19 |
| D.3.4 | Feldkampagne 10.01.2020 .....                      | D-20 |
| D.3.5 | Feldkampagne 19.-22.02.2020 .....                  | D-21 |
| D.3.6 | Feldkampagne 06.03.2020 .....                      | D-23 |
| D.3.7 | Feldkampagne 05.+06.07.2020: Im Hinteren Eis ..... | D-24 |
| D.3.8 | Feldkampagne 09.+10.08.2020: Im Hinteren Eis ..... | D-25 |

## A. ZUSAMMENFASSUNG

Für den **Hintereisferner** brachte das Haushaltsjahr 2019/20 mit **-970 mm w.e.**<sup>1</sup> (Tabelle 1) eine negative Massenbilanz. Die Winterbilanz mit 1396 mm w.e. ist überdurchschnittlich. Die ELA liegt auf 3193 m. Den Verlauf des Massenbilanzjahres prägte wie in den vergangenen Jahren eine überdurchschnittliche Winterbilanz trotz der sehr warmen und trockenen Monate März und April. Der Juni war kalt und schneereich, sodass wiederum der Hintereisferner lange in den Sommer hinein mit Schnee bedeckt und von Eisablation geschützt war. Der Sommer brachte keine Hitzewellen, war jedoch feucht und warm genug, um kontinuierliche Ablation zu ermöglichen. Diese Witterung setzte sich bis knapp Ende September fort, hinterließ nur in den obersten Becken nennenswerte Massenrücklagen und resultierte schließlich in einer negativen Massenbilanz, die leicht positiver als das Mittel der letzten beiden Dekaden (-1145 mm w.e.) ausfiel.

Die jährliche und kumulative Entwicklung der Massenbilanzreihe ist jeweils in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

Tabelle 1: Kennzahlen des Bilanzjahres 2019/20 für den Hintereisferner<sup>2</sup>.

|   | Winter                            |                       |   | Sommer                |                      | gesamtes Jahr                           |                      |
|---|-----------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|----------------------|---|----------------------|
|   | <b>Fläche</b>                     | <b>B<sub>w</sub></b>  | <b>b<sub>w</sub></b>                      | <b>B<sub>s</sub></b>  | <b>b<sub>s</sub></b> | <b>B</b>                                | <b>b</b>             |
|   | [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ]                      | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.]                   | [kg/m <sup>2</sup> ] |
|   | <b>6142</b>                       | <b>8573260</b>        | <b>1396</b>                               | <b>-14531974</b>      | <b>-2366</b>         | <b>-5958713</b>                         | <b>-970</b>          |
| <b>S<sub>C</sub> [10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>]</b> | <b>1941</b>                       |                       | <b>B<sub>C</sub> [m<sup>3</sup> w.e.]</b> | <b>1139775</b>        |                      | <b>b<sub>C</sub> [kg/m<sup>2</sup>]</b> | <b>587</b>           |
| <b>S<sub>A</sub> [10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>]</b> | <b>4201</b>                       |                       | <b>B<sub>A</sub> [m<sup>3</sup> w.e.]</b> | <b>-7098488</b>       |                      | <b>b<sub>A</sub> [kg/m<sup>2</sup>]</b> | <b>-1690</b>         |
| <b>ELA</b>  | <b>3193</b>                       | m a.s.l.              | <b>S<sub>C</sub>/S<sub>A</sub></b>        | <b>0.462</b>          |                      | <b>AAR</b>                              | <b>0.316</b>         |

<sup>1</sup> Eine Liste der Akronyme und Symbole findet sich in Kapitel C.7.

<sup>2</sup> Die Werte für HEF und KWF werden den internationalen Gepflogenheiten entsprechend an das World Glacier Monitoring Service (WGMS) berichtet und damit der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich gemacht. Basis- und Zwischenwerte werden bei Anfrage und für wissenschaftliche Verwendung von ACINN zur Verfügung gestellt.

Für den **Kesselwandferner** brachte das Haushaltsjahr 2019/20 mit **-522 mm w.e.** ein negatives Bilanzjahr (Abbildung 1 und Tabelle 2). Die ELA liegt bei 3222 m a.s.l.

Tabelle 2: Kennzahlen des Bilanzjahres 2019/20 für den Kesselwandferner

|  |      | gesamtes Jahr                     |                                      |           |                          |       |
|--|------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|
|  |      | Fläche                            | B                                    | b         |                          |       |
|  |      | [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.]                | [mm w.e.] |                          |       |
|  |      | 3549                              | -1851588                             | -522      |                          |       |
| S <sub>C</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | 1372 |                                   | B <sub>C</sub> [m <sup>3</sup> w.e.] | 470231    | b <sub>C</sub> [mm w.e.] | 343   |
| S <sub>A</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | 2177 |                                   | B <sub>A</sub> [m <sup>3</sup> w.e.] | -2321819  | b <sub>A</sub> [mm w.e.] | -1067 |
| ELA  | 3239 | m.a.s.l.                          | S <sub>C</sub> /S <sub>A</sub>       | 0.630     | AAR                      | 0.387 |

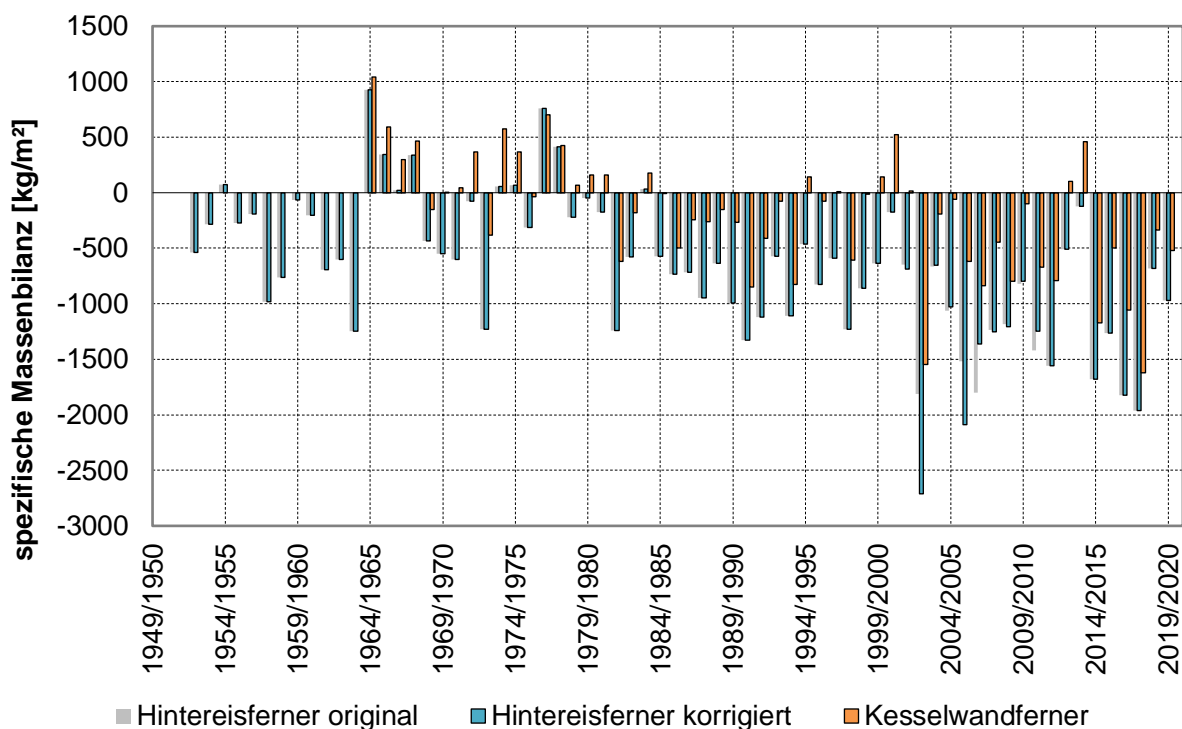


Abbildung 1: Die Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandfernens (Quelle: ACINN). Die Bilanzjahre 2001 – 2011 wurden für den HEF nach Klug et al. (2018) korrigiert.

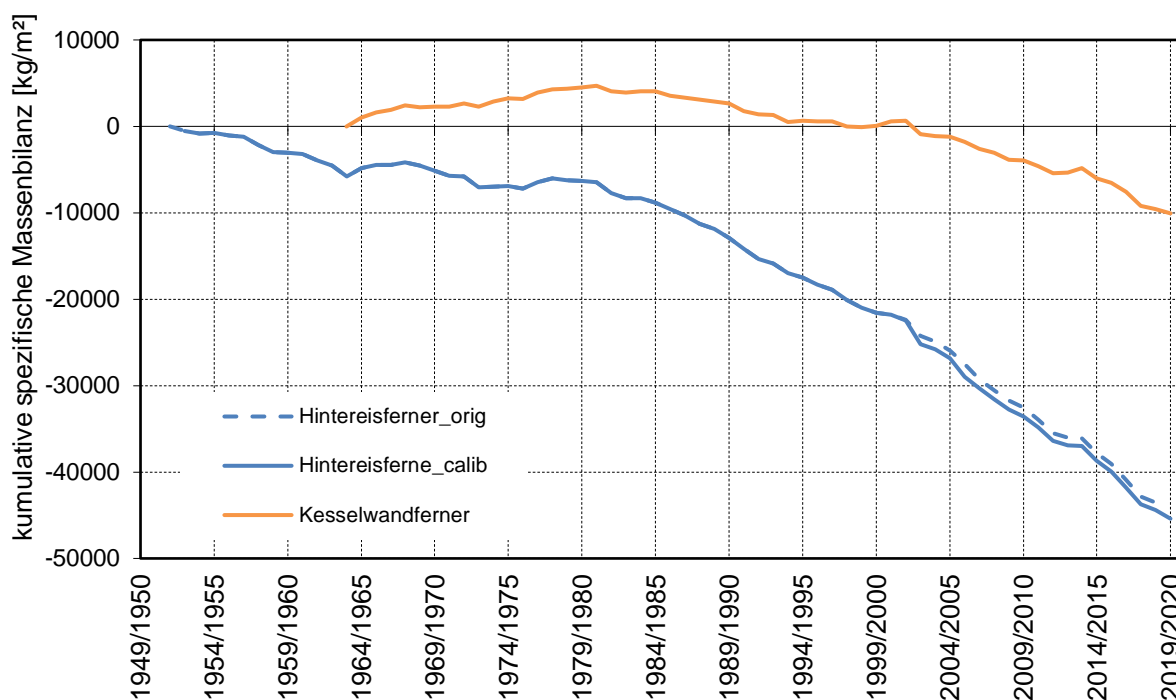


Abbildung 2: Die kumulativen Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandferners (Quelle: ACINN). Die Massenbilanz am HEF wurde 2001-2011 nach Klug et al. (2018) korrigiert.

### Besonderheiten

Die (Feld)Arbeiten im Haushaltsjahr 2019/20 waren geprägt von der COVID-19 Pandemie, die arbeitsrechtliche Einschränkungen mit sich brachte. Von Mitte März bis Ende Juni 2020 waren den Mitarbeiter/innen der Universität Innsbruck Feldarbeiten untersagt. Für die Messung der Winterbilanz am 07.05. konnte eine Ausnahme unter strengen Auflagen erwirkt werden, zur Ablesung der Totalisatoren in diesem Zeitraum nicht. Als zusätzliche Vorsichtsmaßnahme galt, dass während der Sommersaison das Feldarbeitsteam klein bleiben und deren Mitglieder nach Möglichkeit nicht wechseln sollten.

Ende August (28.-30.) gab es ein Starkregenereignis mit >100 mm Niederschlag im Rofental (Abbildung 3). Die Schneefallgrenze lag bis knapp zum Ende des Ereignisses auf etwa 3500 m und darüber. Zwischen dem 29. und dem 30. ging daraufhin eine Mure auf die Zunge des Hintereisferners ab. Die Mure brach am orographisch rechten Hang zum Rofenberg und verschüttete den Zungenbereich unterhalb Pegel 41 mehrere Meter hoch. Pegel L9 ging verloren. Die Ablagerungen werden auf >100.000 m<sup>3</sup> geschätzt. Eine nähere Untersuchung des Ereignisses erfolgte mit einem luftgestützten Laserscan am 01.10.2020. Nähere Ergebnisse liegen noch nicht vor. Die Rofen- und Venterache waren

mehrere Tage braun verfärbt. Von der Flanke der Inneren Quellspitze löste sich ein mehrere Kubikmeter großer Felsblock (geschätzt 5x3x2 m) und blieb am Hintereisferner unterhalb des Hintereisjoches liegen.

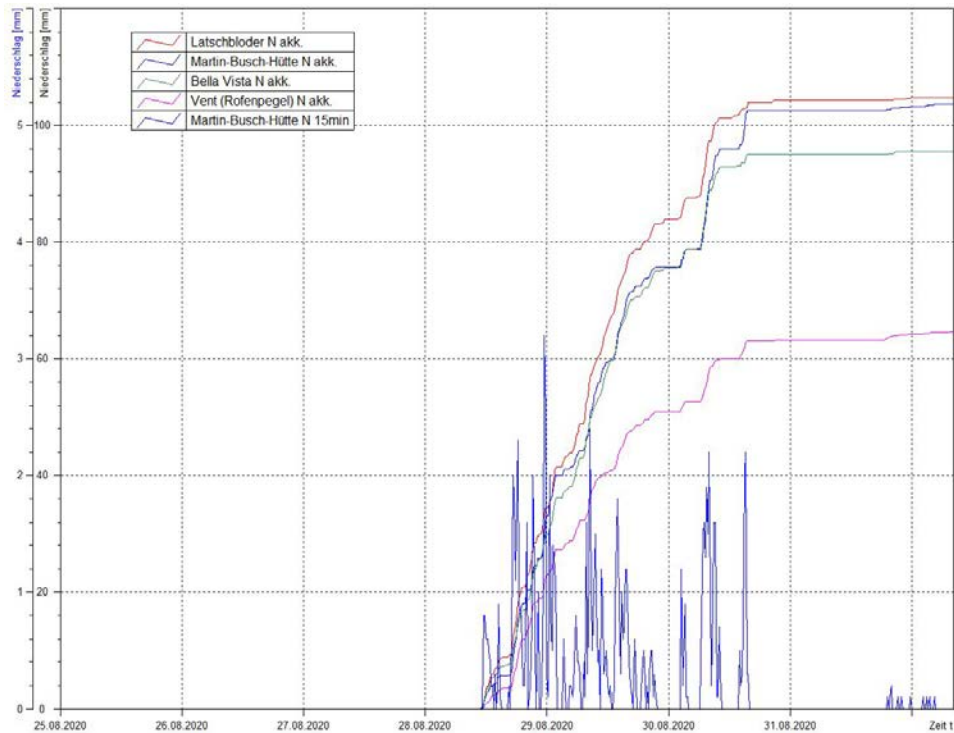


Abbildung 3: Niederschlagsverlauf an ausgewählten Standorten im Rofental. Quelle: HD Tirol.



Abbildung 4: Schrägluftaufnahme des Hintereisfernens. Die Murablagerungen im Zungenbereich sind gut erkennbar. Foto: Robbie Shone, 09.09.2020.



## B. EINLEITUNG

### B.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Der Hintereisferner (HEF) und der Kesselwandferner (KWF) liegen im Rofental (Abbildung 3), einem Seitental des Ötztals und entwässern über die Rofenache in die Venter Ache, die Ötztaler Ache und den Inn.

Der HEF erstreckt sich in ca. 5,6 km Länge von der Weißkugel (3739 m) in nord-östliche Richtung ins Rofental und endet auf etwa 2550 m (2020). Entlang des orographisch rechten Zungenbereiches erstreckt sich ein schuttbedeckter Toteiskörper, der traditionell nicht zur Fläche des Massenbilanzgletschers gezählt wird. Dieser schuttbedeckte Bereich nimmt stetig an Fläche zu, einerseits durch das Absinken der schutfreien Gletscherzunge durch die starke Ablation, andererseits aufgrund des zunehmenden Schutteintrages aus dem darüber liegenden, zunehmend übersteilten, nicht konsolidierten Material der Ufermoräne. Zu der Ausdehnung des HEF werden die im unteren Teil nicht mehr mit der Hauptzunge des HEF verbundenen Gletscherteile des Stationsferners (SF) und des Langtaufererjochferners (LJF) gezählt.

Der KWF liegt nordöstlich des HEF. Den höchsten Punkt seines Einzugsgebiets bildet der Fluchtkogel (3497 m). Im Unterschied zum HEF besitzt der KWF ein ausladendes, südost-exponiertes und hohes Firnbecken und eine kurze Zunge, die bereits am Rand der Felsstufe des flachen Firnbeckens sitzt. Er grenzt mit einer Eisscheide an den westlich angeschlossenen Gepatschferner.

Der HEF und der KWF sind Gegenstand jahrzehntelanger glaziologischer Forschung am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. Ihre seit 1952/53 (HEF) und seit 1965/66 (KWF) aufgezeichneten Massenbilanzreihen zählen zu den längsten weltweit (Abbildung 1 und Abbildung 2).

### B.2 Methodik

Zur Bestimmung der Massenbilanz wird die direkte glaziologische Methode mit fixem Datum (Cogley et al., 2011; Hoinkes, 1970) angewandt. Die Massenbilanz eines Gletschers wird dabei anhand von Messungen an ausgewählten Punkten der Gletscheroberfläche ermittelt. Diese Messungen erfolgen im Ablationsgebiet an Pegelstangen, welche in das Gletschereis gebohrt sind, und im Akkumulationsgebiet in Schneeschächten (zur Messung der Schneedichte), die durch räumlich verteilte Schneehöhensondierungen ergänzt werden. Der Zeitraum der Messung umfasst ein hydrologisches Haushaltsjahr (mittlerer Breiten der Nordhemisphäre), jeweils vom 01.10. bis zum 30.09. des Folgejahres. Das natürliche Massenhaushaltsjahr ist als die Zeitspanne von einem Massenminimum des Gletschers zum nächsten im darauffolgenden Spätsommer/Herbst definiert und kann vom hydrologischen Haushaltsjahr mehr oder weniger stark abweichen. Aufgrund der Höhenerstreckung des Gletschers und der damit verbundenen unterschiedlich langen Ablationsperioden ist die Definition des Zeitpunktes des Massenminimums des Gesamtgletschers

schwierig und unscharf. Daher wird nur bei starken Abweichungen und operationeller Möglichkeit die natürliche Massenbilanz zusätzlich zu jener im hydrologischen Haushaltsjahr ermittelt. Beim Aufsummieren der Massenänderungen über mehrere Jahre verschwinden eventuelle Unterschiede zwischen natürlichem und hydrologischem Haushaltsjahr.

Um eine höhere zeitliche Auflösung v.a. des Ablationsverlaufes zu erhalten, aber auch zur laufenden Zustandskontrolle der Pegel, werden diese während des Sommers mehrmals, in jedem Fall aber bei der Abschlussbegehung nahe dem 30.09 abgelesen. Zusätzlich wird am Ende der Akkumulationsperiode (01.10.-30.04.) die Winterbilanz mittels Schneehöhen- und Schneedichtemessungen ermittelt (nur am HEF). Die Werte werden jeweils in Höhe Wasseräquivalent (mm w.e.) oder, bei identischen Zahlenwerten, als Masse pro Einheitsfläche ( $\text{kg m}^{-2}$ ) angegeben.

Die Analyse der Linien gleicher Bilanzwerte erfolgt händisch, meist in einer Äquidistanz von 250 mm w.e., und gestützt auf die gemessenen Punktwerte und Informationen zur Ausdehnung von Altschneerücklagen aus der Fotodokumentation. Diese Linien werden digitalisiert und in einem Geoinformationssystem mit der Gletscherfläche, aufgeteilt in Höhenstufen mit 50 m Äquidistanz, verschnitten und ausgewertet.

Die mittlere flächenspezifische Bilanz  $b$  ergibt sich aus dem Quotienten der Gesamtmassenänderung  $B$  und der Gesamtfläche  $S$ . Die Gesamtfläche wird in Flächen mit Netto-Akkumulation  $S_C$  und Flächen mit Netto-Ablation  $S_A$  unterteilt. Die Bilanzen dieser Teilflächen lauten  $B_C$  und  $B_A$  mit den entsprechenden mittleren spezifischen Bilanzen  $b_C$  und  $b_A$ . Die Accumulation Area Ratio (**AAR**) bezeichnet das Verhältnis  $S_C$  zu  $S$ .

$$\begin{aligned} S &= S_C + S_A & [\text{m}^2] & & b_C &= B_C/S_C & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \\ B &= B_C + B_A & [\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}] & & b_A &= B_A/S_A & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \\ b &= B/S & [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] & & \text{AAR} &= S_C/S \end{aligned}$$

Aus den Schneeschächten zu Ende des Winters (30.04.) und den Sondierungen der Schneehöhe wird die Winterbilanz ( $B_W$ ,  $b_W$ ) und in Folge Sommerbilanz ( $B_S$ ,  $b_S$ ) als Differenz zwischen Jahres- und Winterbilanz berechnet.

$$b_S = b - b_W \quad [\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}] \qquad B_S = b_S \cdot S \quad [\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}]$$

Nach Höhenstufen aufgetragene Bilanzwerte ( $b_z$ ) führen zum vertikalen Bilanzprofil (VBP). Die Höhe der Gleichgewichtslinie (ELA) definiert sich als niedrigster Schnittpunkt des VBP mit der Linie  $b = 0$ .

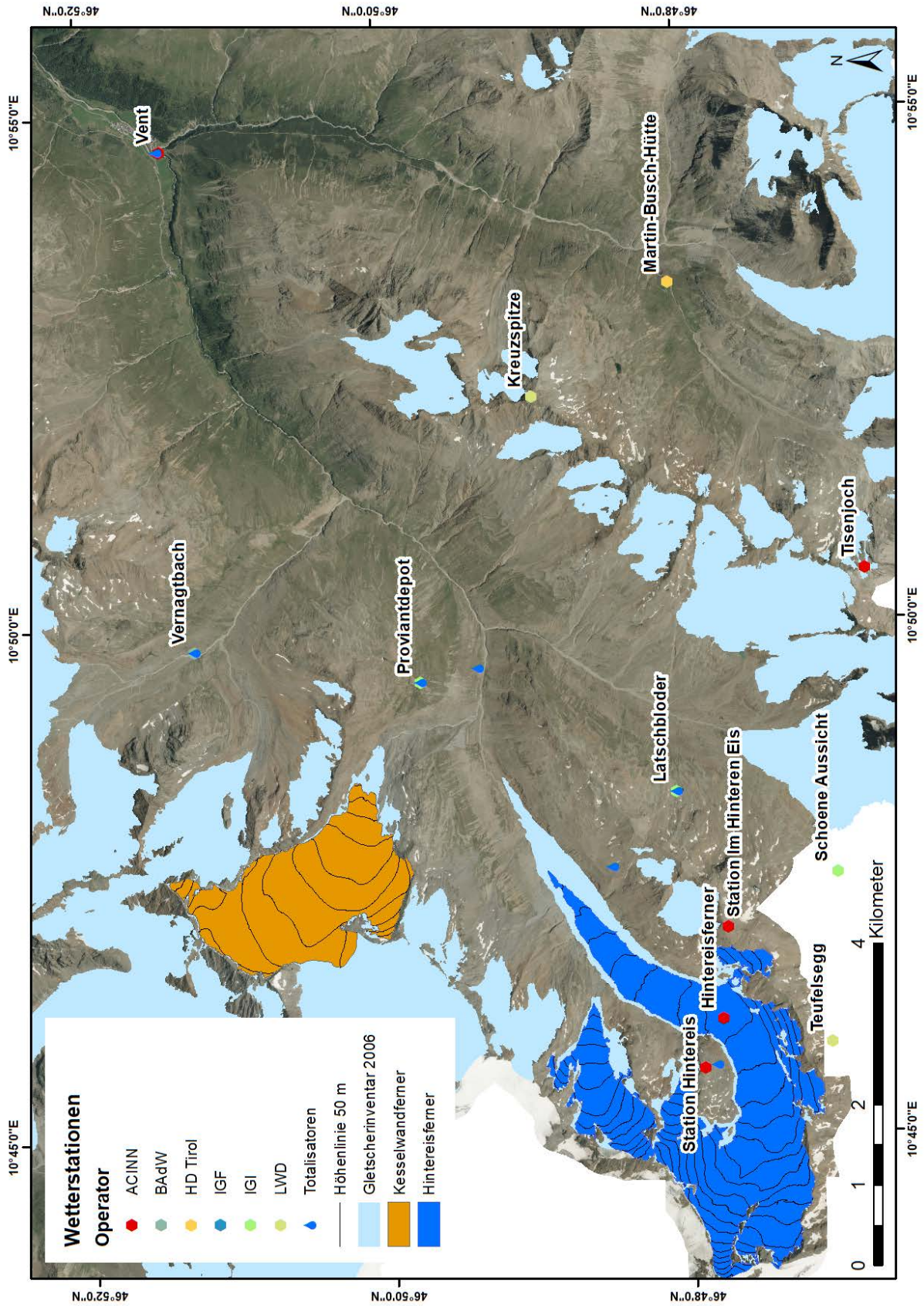


Abbildung 5: Übersichtskarte des Rofentals mit der Lage der Gletscher, Totalisatoren und automatischen Wetterstationen. Der Laserscan befindet sich bei der Station Im Hinteren Eis.

Im September 2016 wurde im Hinteren Eis ein permanenter Laserscanner und im Laufe des Sommers 2017 eine automatische Wetterstation (AWS Im Hinteren Eis, Abbildung 3) installiert. Zeitnahe Aufnahmen der Gletscheroberfläche zu den Messungen der glaziologischen Massenbilanz erlauben einen Vergleich der direkt gemessenen (glaziologischen) Massenbilanz mit der Höhenänderung aus der Differenz der beiden Laserscans (geodätische Bilanz) für die Winter- als auch die Jahresbilanz.

### **B.3 Messnetz**

Für das Haushaltsjahr 2019/20 wurde im Wesentlichen derselbe Eisrand von HEF und KWF wie im Vorjahr verwendet (auf Basis des Laserscan Geländemodelles des Landes Tirol, aufgenommen 2018). Aufgrund des Starkregenereignisses Ende August 2020 wurde der untersten Bereich der HEF Zunge vermurt. In Folge dessen wurde der Eisrand anhand einer Sentinel-2 Satellitenszene des Bodenfeuchteindex aktualisiert (Abbildung 4).

Die Gletscherfläche des HEF beträgt 2020 6,141 km<sup>2</sup> – um 0,083 km<sup>2</sup> (oder 1%) weniger als im Jahr 2018; jene des KWF misst 3,589 km<sup>2</sup> (2018).

Das Messnetz am HEF umfasst Schneeschächte und Ablationspegel. Die Schneeschächte werden zur Bestimmung der Winterbilanz und der Massenrücklage am Ende des Haushaltsjahres an mehr oder weniger denselben Stellen gegraben. Die Anzahl der Schächte hängt von der Schneelage und der herrschenden Witterung ab. Die Ablation wird an den Ablationspegeln gemessen, die von repräsentativen Standorten aus eine flächenhafte Interpolation der Massenänderung erlauben. Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten im Sommer 2020 einige Pegel nicht mehr aufgesucht werden bzw. liegen die obersten Pegel zum Teil unter den Massenrücklagen begraben. Bei der Abschlussbegehung am HEF und KWF (01.10.2020) wurden Schneehöhen und Schneedichten der Massenrücklagen ermittelt.

Die Ausaperung am HEF wurde durch die Bilder der im Mai 2018 installierten automatischen Kameras (<https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner1/> und <https://www.foto-webcam.eu/webcam/hintereisferner2/>) dokumentiert. Trotz immer wieder auftretender Störungen in der Stromversorgung kann der Verlauf sowie der Maximalstand der Ausaperung, heuer am 20.09.2020, hinreichend festgehalten werden.

Zusätzlich betreibt das ACINN fünf automatische Wetterstationen im Rofental zur Messung glaziometeorologisch bedeutender Parameter (Tabelle 3 und Abbildung 3). Komplementär dazu wird ein Netzwerk aus 7 Niederschlagstotalisatoren betreut. Die Station Hintereis (3026 m) des ACINN dient als Unterkunft während der Feldkampagnen (Abbildung 3).

Tabelle 3: Überblick über die gemessenen Parameter der automatischen Wetterstationen des ACINN im Rofental.

|  | Vent | Station Hintereis | Hintereisferner <sup>1</sup> | Im Hintereis   | Tisenjoch |
|--|------|-------------------|------------------------------|----------------|-----------|
| Lufttemperatur   | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Feuchte  | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Windgeschwindigkeit  | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Windrichtung   | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Strahlung (4 Komponenten)  | -    | +                 | +                            | +              | +         |
| Luftdruck  | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Schneehöhe   | +    | +                 | +                            | +              | +         |
| Niederschlag   | +    | +                 | -                            | +              | -         |
| 3D Anemometer  | -    | -                 | -                            | +              | -         |
| Schneedrift  | -    | + <sup>2</sup>    | -                            | + <sup>2</sup> | -         |
| Niederschlagsradar   | -    | -                 | -                            | + <sup>2</sup> | -         |
| <sup>1</sup> nur während der Ablationsperiode; 2020 nur Schneehöhe |      |                   |                              |                |           |
| <sup>2</sup> zur Zeit nur Fallstudien; nicht im Regelbetrieb       |      |                   |                              |                |           |

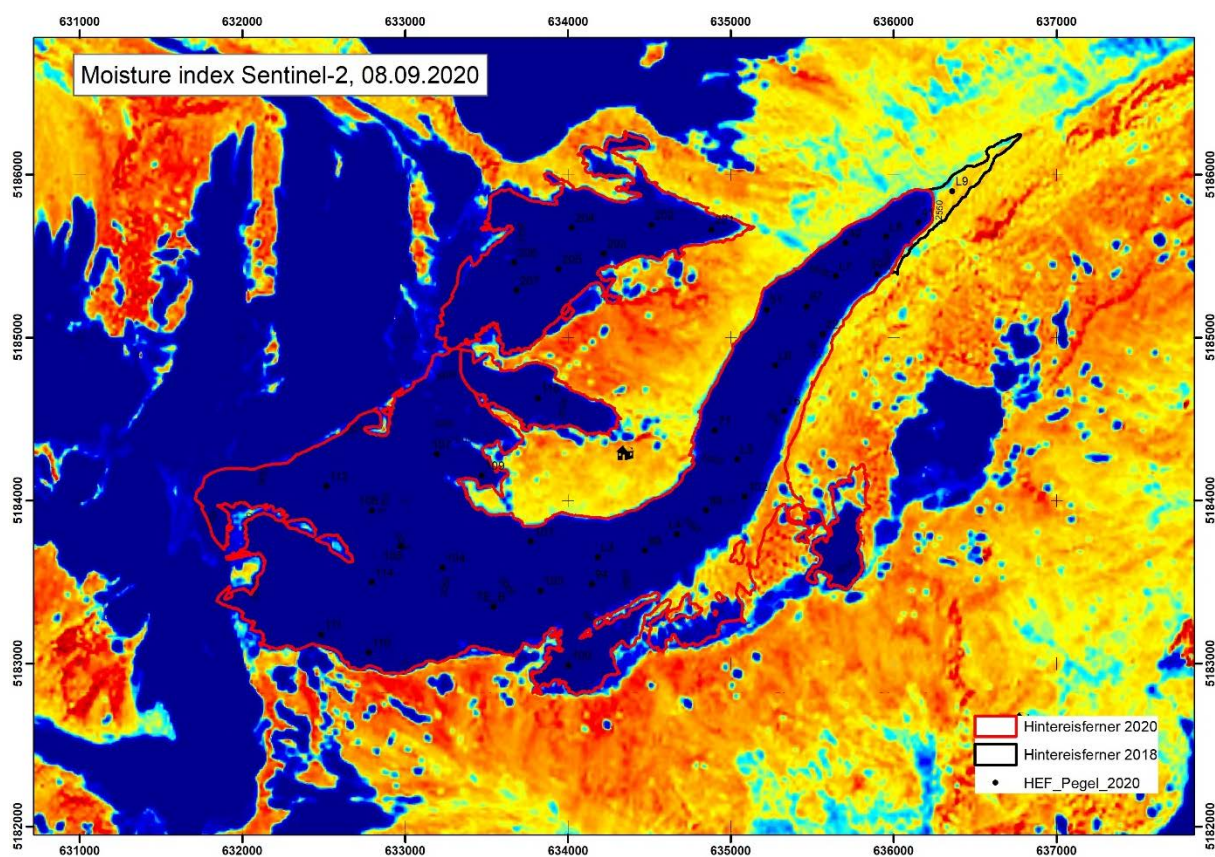


Abbildung 6: Bodenfeuchteindex aus der Sentinel-2 Szene vom 08.09.2020. Blau zeigt wassergesättigte Oberflächen, im Wesentlichen Schnee bzw. Eis, rot sehr trockene Bereiche, damit unter Umständen auch schuttbedecktes Eis (wie z.B. die Nordflanke des Rofenberges gegenüber der Station Hintereis). Anhand dieser Szene wurde der Eisrand des Hintereisfernens an seiner Zunge nach einer Vermurung aktualisiert. Die Mure brach Ende August an den orographisch rechten Hängen oberhalb Pegel L9, der dadurch auch verloren ging.

Das Messnetz am KWF wurde im Haushaltsjahr 2013/14 vom ACINN komplett neu aufgesetzt und seitdem nur marginal verändert. Dabei wurden die Ablationspegel in der Nähe der bestehenden Pegel zur Bewegungsmessung gebohrt, zusätzlich aber auch über die Gletscherfläche verteilt. Im Haushaltsjahr 2014/15 wurde das Pegelnetz weiter ausgebaut und die Anzahl der Ablationspegel am KWF auf 19 erhöht. Zur Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2019/20 wurden 14 Pegel zu zwei Terminen abgelesen und ein Schneeschacht zur Bestimmung der Rücklagen angelegt.

# C. ANALYSEN UND ERGEBNISSE

## C.1 Witterung im Haushaltsjahr

Auf den Massenhaushalt eines Alpengletschers haben drei meteorologische Faktoren besonderen Einfluss (Hoinkes and Steinacker, 1975):

1. Der feste Niederschlag sorgt im Winterhalbjahr für den Großteil der Akkumulation,
2. die Temperatur der Umgebungsluft steht während der Sommermonate für das Wärmeangebot,
3. die Anzahl und Menge der Neuschneefälle während des Sommers kann Schmelzvorgänge maßgeblich unterbrechen und zur Nettoakkumulation beitragen.

Durch automatische Aufzeichnungen an der Wetterstation in Vent und in situ Beobachtungen während der Feldkampagnen können diese Faktoren quantifiziert werden.

- Die Winterniederschläge Oktober – April 2019/20 lagen etwa 10% über dem Mittel der Klimanormalperiode 1981-2010 (Tabelle 4 und Abbildung 7). Im November fiel 2,5-mal mehr Niederschlag, von Jänner bis April hingegen waren die Niederschläge unterdurchschnittlich. Die daraus resultierende Winterbilanz ist leicht überdurchschnittlich. Die trockene und warme Witterung im Frühling führte schon zu Schmelze in den untersten Regionen des HEF und somit zeigt sich heuer ein deutlicher Höhengradient in der Winterbilanz. Die Akkumulationsperiode war durchbrochen von langen, warmen Schönwetterperioden, dauerte aber bis Mitte Juni, brachte dabei im späteren Verlauf jedoch nur vereinzelt bedeutenden Schneezuwachs.
- Auch im Sommerhalbjahr lagen die Niederschläge in fast allen Monaten deutlich über dem langjährigen Mittel, besonderes im August. Im gesamten Haushaltsjahr summierten sich die Niederschläge in Vent auf 744 mm, damit auf etwa 10% über dem Durchschnitt.
- Die Lufttemperatur übersteigt das langjährige Mittel (1981-2010) um 2,2°C, wobei die positive Abweichung im Winterhalbjahr leicht überwiegt. (Tabelle 4). In keinem Monat lag die Lufttemperatur unter dem langjährigen Mittel. Im Jänner und April sogar knapp am Temperaturrekord (Abbildung 8). Der Sommer 2020 lag um 1,7°C über dem langjährigen Mittel.
- Aufgrund der hohen Temperaturen im Sommerhalbjahr war die Schneefallgrenze meist deutlich über dem Gipfelniveau. Nennenswerte Schneefälle während der Ablationsperiode gab es nur Anfang September. Durch die mächtige Winterschneedecke und die günstigen Reflektionseigenschaften des wenigen frischen Schnees im Juni konnte sich die Schneedecke bis Anfang Juli halten und somit trotz der hohen Lufttemperaturen die Eisablation merklich unterbinden.

- Bis Ende August war dennoch das Gletschereis unterhalb etwa 3100 m größtenteils aper. In den höheren Bereichen konnten sich aufgrund der großen Schneemengen im Winter zum Teil geschlossene Akkumulationsfelder erhalten.
- Die warme Witterung im September begünstigte noch Ablation bis in die höchsten Lagen der Gletscher. Nach den Schneefällen am 20.09. endet die Ablationsperiode mit der Ausbildung einer dauerhaften Schneedecke.

Tabelle 4: Monatsmittel der Lufttemperatur und Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent, 2019/20 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1981-2010.

| Monat             | Lufttemperatur (°C) |             |            | Niederschlag (mm) |            |            |
|-------------------|---------------------|-------------|------------|-------------------|------------|------------|
|                   | 1981-2010           | 2019/20     | Abweichung | 1981-2010         | 2019/20    | Abweichung |
| Oktober           | 3.7                 | 6.7         | 3.0        | 57                | 54         | -3         |
| November          | -2.0                | -0.8        | 1.2        | 59                | 151        | 92         |
| Dezember          | -2.9                | -2.7        | 0.2        | 43                | 57         | 14         |
| Jänner            | -5.8                | -3.3        | 2.5        | 36                | 13         | -23        |
| Februar           | -5.9                | -1.5        | 4.4        | 35                | 26         | -9         |
| März              | -2.7                | -2.6        | 0.1        | 44                | 26         | -19        |
| April             | 0.6                 | 5.1         | 4.5        | 42                | 21         | -22        |
| <b>Winter</b>     | <b>-2.4</b>         | <b>0.1</b>  | <b>2.5</b> | <b>316</b>        | <b>346</b> | <b>30</b>  |
| Mai               | 5.6                 | 7.0         | 1.4        | 65                | 44         | -21        |
| Juni              | 8.7                 | 9.7         | 1.0        | 75                | 101        | 26         |
| Juli              | 10.8                | 13.0        | 2.2        | 82                | 55         | -27        |
| August            | 10.2                | 12.0        | 1.8        | 87                | 150        | 63         |
| September         | 7.0                 | 9.2         | 2.2        | 54                | 48         | -6         |
| <b>Sommer</b>     | <b>8.5</b>          | <b>10.2</b> | <b>1.7</b> | <b>363</b>        | <b>398</b> | <b>35</b>  |
| <b>Hydr. Jahr</b> | <b>2.1</b>          | <b>4.3</b>  | <b>2.2</b> | <b>679</b>        | <b>744</b> | <b>65</b>  |

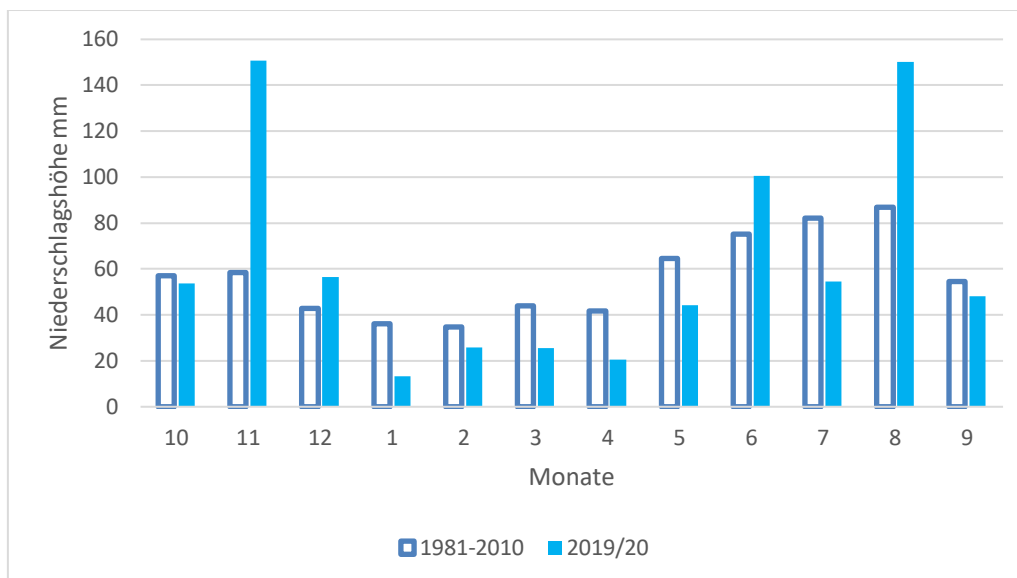


Abbildung 7: Die Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) mit dem hydrologischen Jahr 2019/20.



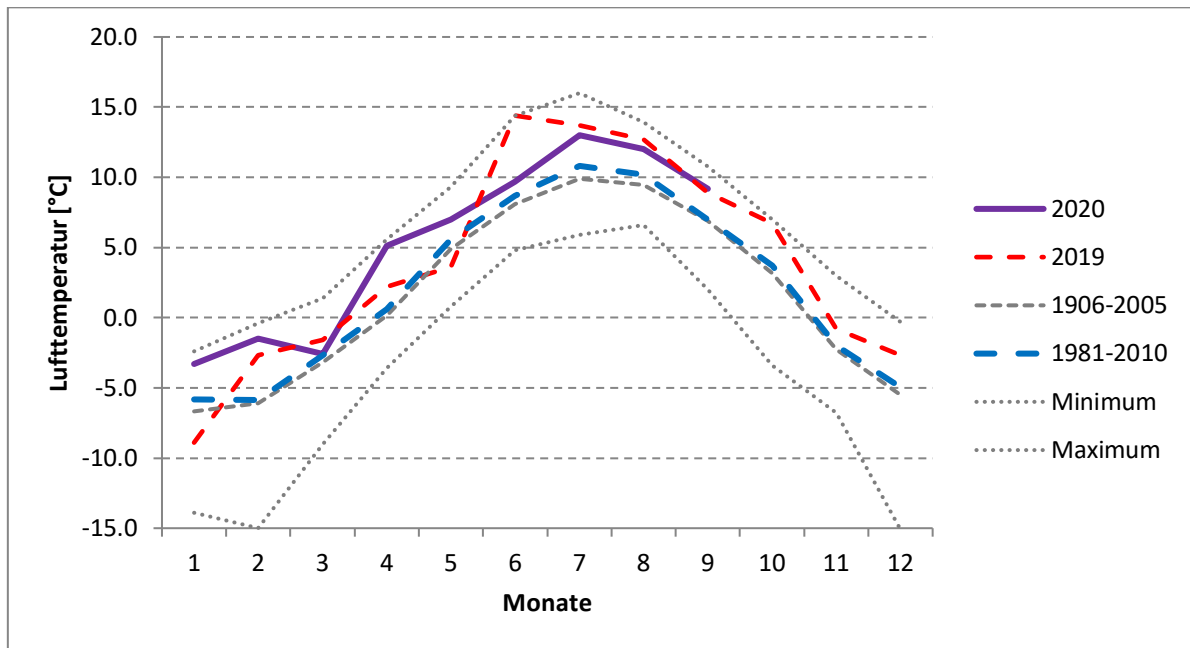


Abbildung 8: Die Monatsmittel der Lufttemperatur an der Station Vent: Vergleich der langjährigen Mittel (1906-2005 sowie 1981-2010) der Lufttemperatur mit den Jahren 2019 (bisheriger „Rekordsommer“) und 2020. Der Juni und der Sommer 2019 (Juni bis August) waren die bisher wärmsten je an der Station in Vent gemessenen.

## C.2 Massenbilanz Hintereisferner

### C.2.1 Winterbilanz

Die Messungen zur Erstellung der Winterbilanz 2019/20 mussten aufgrund der arbeitsrechtlichen Beschränkungen im Zuge der COVID19 Pandemie an einem Tag, dem 07.05.2020, durchgeführt werden. Auf eine Korrektur zum 30.04. wurde verzichtet, da aufgrund der Witterung keine nennenswerten Änderungen in diesen wenigen Tagen zu erwarten war.

22 Schneehöhenmesspunkte und zwei Schneeschächte (Tabelle 5 und Abbildung 9) zur Dichtemessung bildeten die Basis zur Analyse der Winterbilanz. Die große Schneehöhe und das kurze Zeitfenster ließen nicht mehr Messungen zu. Die lange und warme Witterung im April sorgte bereits für eine vollständige Durchfeuchtung der Schneedecke bis etwa auf 3200 m. Ein deutlicher Höhengradient in der Schneedichte und der Schneehöhe wurden festgestellt. Die stratigraphische Bestimmung des letztjährigen Oberflächenhorizontes im Akkumulationsgebiet erfolgte durch den harten, gefrorenen Horizont, der sich bereits bei der Abschlussbegehung am 13.10.2019 zeigte.

Die Lage der Schächte wurden dem kurzen Zeitfenster angepasst. Zusätzlich wurden am Schacht TE\_Chem Schneeeproben gezogen und diese anschließend im Labor auf ihre Ionenzusammensetzung analysiert.

Die Analyse der Winterbilanz ist Abbildung 9 und Tabelle 7 dargestellt. Das vertikale Bilanzprofil der Winterbilanz ist in Abbildung 12 abgebildet. Die detaillierten Mess- und Beobachtungswerte aus den Schneeschächten sind im Kapitel D.2.1 aufgelistet. Trotz der geringen Anzahl an Messpunkten ist die glaziologische Winterbilanz ( $1396 \text{ kg/m}^2$ ) quasi ident mit der geodätischen Winterbilanz ( $1386 \text{ kg/m}^2$ ) (Kapitel C.2.3).

*Tabelle 5: HEF, Winterbilanz 2018/19: Schneehöhe, Dichte und Wasserwert der Schneeschächte für das hydrologische Winterhaushaltsjahr (Die Lage der Schneeschächte ist in Abbildung 5 und Abbildung 10).*

| Name | Höhe<br>[m.a.s.l.] | Schneehöhe<br>[cm] | Dichte<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Wasserwert<br>[kg/m <sup>2</sup> ] |
|------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| TE   | 3042               | 345                | 474                            | 1635                               |
| P41  | 2575               | 97                 | 525                            | 509                                |

Die mittlere spezifische Winterbilanz des Hintereisferners 01.10.2019-30.04.2020 beträgt:

$$b_w = 1396 \text{ mm w.e.}$$

$$B_w = 8,573 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ Wasser}$$

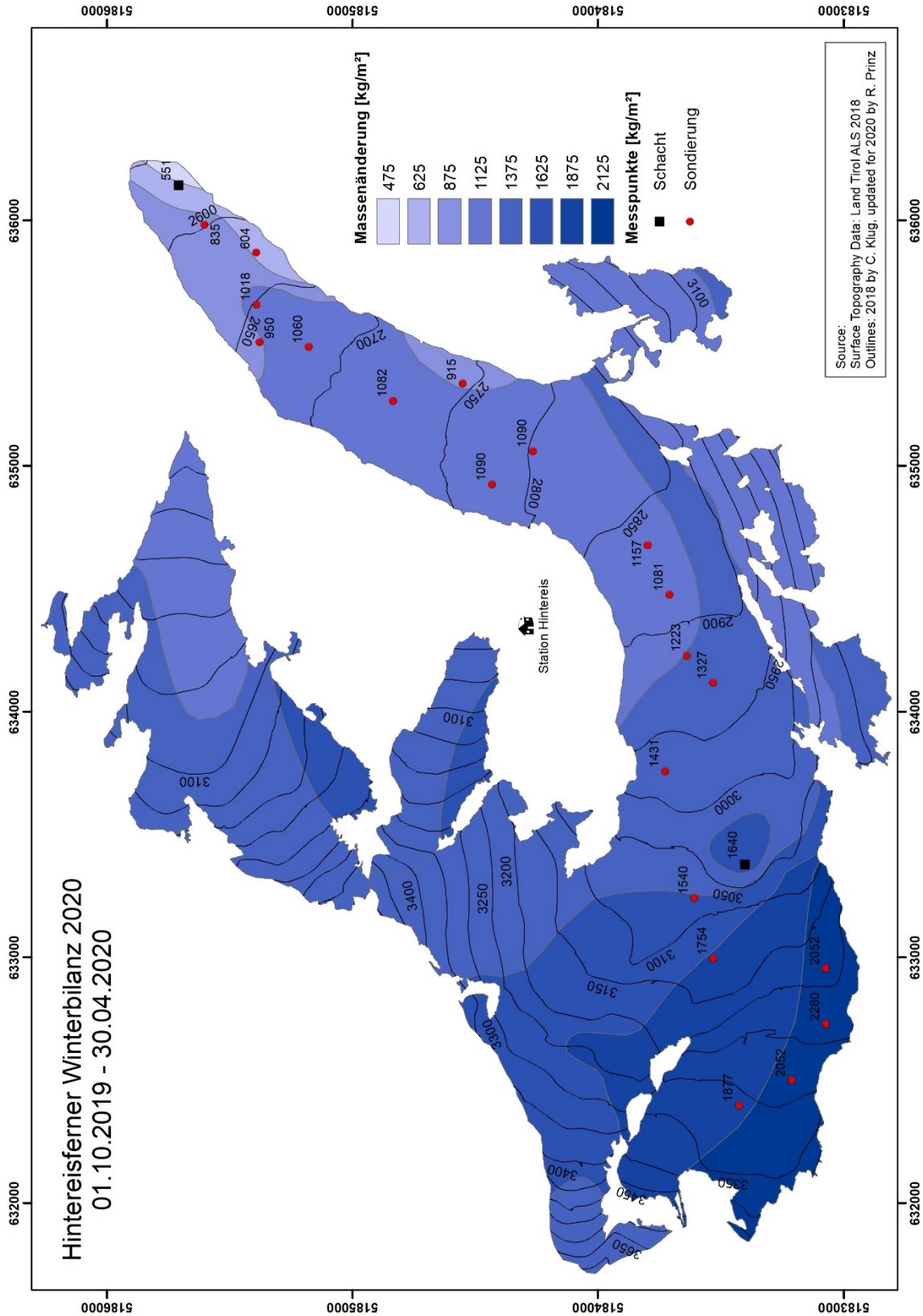


Abbildung 9: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz im Winterhaushaltsjahr am Hinterseisferner (01.10.2019 – 30.04.2020).

## C.2.2 Jahresbilanz

Der Bestimmung der Ablation im Haushaltsjahr 2019/20 liegen Messungen und Beobachtungen aus fünf Feldkampagnen und an 31 Pegeln und Messpunkten zugrunde (Tabelle 6). Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Firnpegel nur eingeschränkt erreicht werden. Die Abschlussbegehung am HEF fand am 01.10.2020 bereits mit Schi statt. Die Punktwerte sind neben den vertikalen Bilanzprofilen in Abbildung 12 sowie in Abbildung 13 eingetragen. Tabelle 7 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2019/20. Eine Bestätigung dieser Extrapolation bildet der Vergleich mit der geodätischen Massenbilanz aus der Höhenänderung von zwei Laserscans (Abbildung 12).

Aufgrund der hohen Temperaturen im Sommerhalbjahr war die Schneefallgrenze meist deutlich über dem Gipfelniveau und es waren keine nennenswerten Neuschneefälle auf dem Gletscher zu verzeichnen (ausgenommen Anfang September). Durch die mächtige Winterschneedecke und die günstigen Reflektionseigenschaften des Neuschnees im Juni konnte sich die Schneedecke in den mittleren Höhenstufen bis weit in den Juli hinein halten und somit trotz der hohen Lufttemperaturen die Eisablation merklich unterbinden. Dennoch war bis Ende August das Gletschereis unterhalb etwa 3100 m größtenteils aper und der noch warme September führte zu deutlicher Ablation bis in die höchsten Höhenstufen. In den höheren Bereichen konnten sich aufgrund der großen Schneemengen im Winter zum Teil geschlossene Akkumulationsfelder erhalten. Geringere Schneehöhen in den unteren Höhenstufen, ließen diese rasch ausapern und ergaben einen deutliche Höhengradienten in der Massenbilanz. Das Rücklagenmuster zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung ist in den Jahren 2019 und 2020 sehr ähnlich (Abbildung 10 und Abbildung 11).

Interpretation zur Gletscheroberfläche von 2018 zu stratigraphischen Bestimmung der Massenrücklage: Am Schacht P110 = SSJ (Kapitel D.2.6) wurden bei der Winterbilanz am 07.05. 481 cm Schnee gemessen. Am 01.10. wurde der Schacht bis zu einem nicht durchdringbaren Horizont gegraben (243 cm). Dieser wird als die Oberfläche 2018 interpretiert, als der Gletscher an dieser Stelle schneefrei war. Etwa 54 cm darüber liegt ein dunkler Horizont mit einer dünnen Schicht Tiefenreif. Dieser Horizont wird als die Oberfläche 2019 interpretiert. Es ergibt sich also eine Akkumulation von 189 cm, davon 32 cm Neuschnee und 157 cm Altschnee. Die von Vent extrapolierten Gradtagsummen ( $-0,60^{\circ}\text{C}/100\text{ Hm}$ ) an der Höhe des Schachtes betragen  $278^{\circ}\text{C}$  (01.05.-30.09.) bzw.  $271^{\circ}\text{C}$  (01.06.-30.09.). Umgerechnet mit einem vergleichsweise hohen Gradtagfaktor für Schnee von  $5.40\text{ mm}/^{\circ}\text{C}/\text{Tag}$  (Braithwaite, 2008; Lang et al., 1977) ergeben sich somit maximal  $1800\text{ kg}/\text{m}^2$  Ablation an der Position P110, oder eine Höhenänderung von etwa 330 cm. Somit müssten noch etwa 150 cm des Winterschnees übrig sein, was mit der stratigraphischen Interpretation aus den Schächten am HEF und KWF übereinstimmt.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Hintereisferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2019 – 30.09.2020 beträgt:  **$b = -970\text{ mm w.e.}$**

Das entspricht:  **$B = -5,959\text{ }10^6\text{ m}^3$**  Wasser

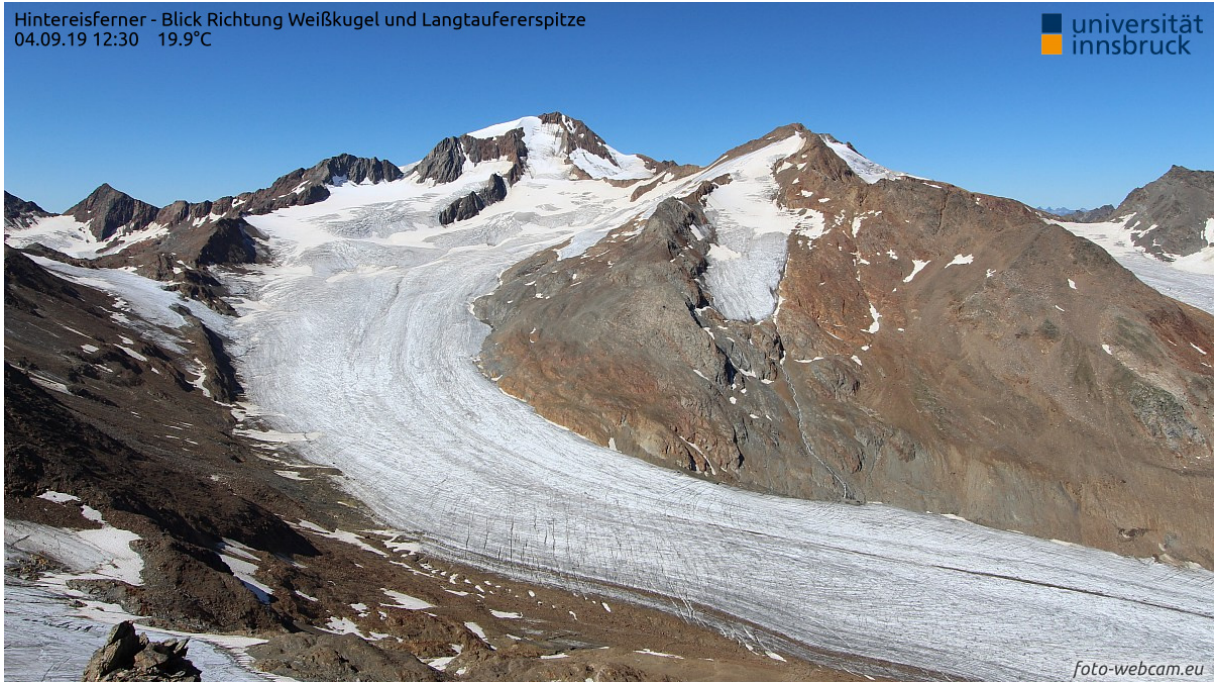


Abbildung 10: Die maximale Ausaperung des Hintereisferners am 04.09.2019.

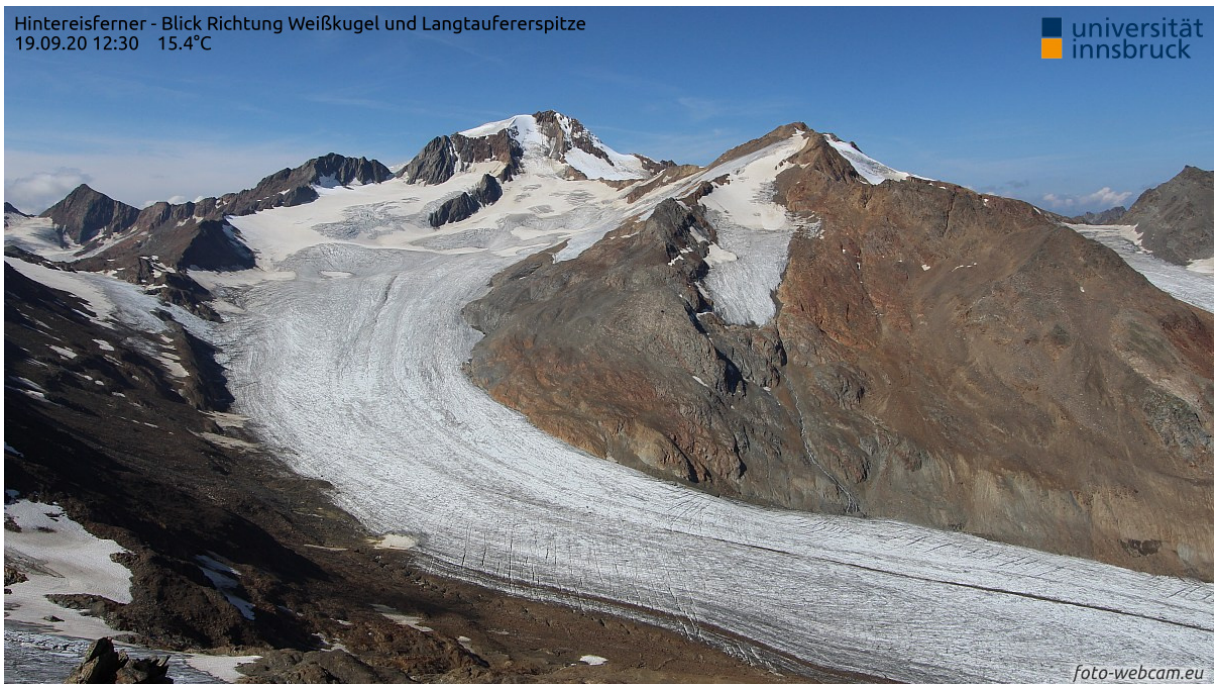


Abbildung 11: Die maximal Ausaperung des Hintereisferners am 19.09.2020. Das Muster der Massenrücklagen ist in den Jahren 2019 und 2020 beinahe identisch.

Tabelle 6: Ablationsverlauf an den Pegeln des Hintereisferners 2019/20. Die Ablation zu den Ablesezeitpunkten der Periode seit der letzten Ablesung.

| Name  | Ablation (cm) |        |        |         |        | Akkumulation (kg/m <sup>2</sup> )                           |        | Massenbilanz 2019/20 (kg/m <sup>2</sup> ) |
|---|---------------|--------|--------|---------|--------|---|--------|---|
|   | 08.07.        | 01.08. | 19.08. | 10.09.  | 01.10. | Sep.19  | Sep.20 |   |
| L9  | 236           | 169    | 115    | vermurt |        |   |        |   |
| 41  | 196           | 174    | 107    |         | 389    |   | 21     | -7771                                     |
| L8  | 152           | 161    | 109    | 86      | 57     |   | 33     | -5055                                     |
| 42  | 77            | 161    |        | 193     | 63     |   | 42     | -4402                                     |
| 50  | 200           | 181    |        | 207     | 43     |   | 35     | -5644                                     |
| L7  | 66            | 196    |        | 159     | 56     |   | 22     | -4273                                     |
| 87  | 73            | 150    |        | 163     | 53     |   | 22     | -3929                                     |
| 22  | 96            | 166    |        | 210     | 60     |   | 26     | -4760                                     |
| 51  | 16            |        |        | 305     | 49     |   | 29     | -3299                                     |
| L6  | 5             | 153    |        | 147     | 37     |   | 43     | -3035                                     |
| 28  | 5             | 142    |        | 0       | 0      |   | 0      | -1323                                     |
| 26  | 5             | 151    |        | 180     | 50     |   | 49     | -3420                                     |
| LIDAR = L5  |               | 90     |        | 160     | 43     |   | 63     | -2570                                     |
| 71  |               | 178    |        | 160     | 43     |   | 67     | -3362                                     |
| 102   |               |        |        | 239     | 44     |   | 64     | -2483                                     |
| L4  |               | 41     |        | 140     | 45     |   | 65     | -1972                                     |
| 89  |               |        |        | 178     | 49     |   | 102    | -1943                                     |
| L3  |               |        |        | 137     | 50     |   | 83     | -1602                                     |
| 103   |               |        |        | 89      | 44     | 12  | 81     | -1123                                     |
| 101   |               |        |        | 121     | 46     | 12  | 42     | -1470                                     |
| TE_B  |               |        |        | 11      | 42     | 12  | 86     | -403                                      |
| 104   |               |        |        | 31      | 47     | 12  | 84     | -631                                      |
| 105   |               |        |        | 98      | 51     | 24  | 97     | -1268                                     |
| 109   |               |        |        | 100     | 50     | 24  | 93     | -1281                                     |
| 106   |               |        |        | 50      | 50     | 12  | 93     | -819                                      |
| 107   |               |        |        | 50      | 50     | 24  | 93     | -831                                      |
| 110   |               |        |        |         |        | Schneeschacht   |        | 941                                       |
| 111   |               |        |        |         |        | Massenrücklage aus Schneeschacht und Sondierungen ermittelt |        | 1066                                      |
| A1  |               |        |        |         |        |   |        | 1375                                      |
| A2  |               |        |        |         |        |   |        | 1197                                      |
| A4  |               |        |        |         |        |   |        | 1247                                      |
| aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt       |               |        |        |         |        |   |        |   |
| Neuschneedichte September 2019: 244 kg/m <sup>3</sup> |               |        |        |         |        |   |        |   |
| Neuschneedichte September 2020: 267 kg/m <sup>3</sup> |               |        |        |         |        |   |        |   |
| Altschneedichte September 2020: 546 kg/m <sup>3</sup> |               |        |        |         |        |   |        |   |

### C.2.3 Geodätische Massenbilanz

Wie bereits im letzten Bilanzjahr wurde auch heuer die Massenbilanz geodätisch mit dem terrestrischen Laserscanner (TLS) im Hintereis bestimmt. Die Akquisitionsdaten der Laserscans waren 30.09.2019 und 07.05.2020 (Winterbilanz) bzw. 01.10.2020 (Jahresbilanz). Von den genannten Zeitpunkten werden Differenzgeländemodelle erstellt, um die Höhenänderung der Gletscheroberfläche zu ermitteln. Die Umrechnung von der mittleren Höhenänderung pro Höhenstufe in eine Massenänderung erfolgte anhand der gemessenen Schneedichten: für die Winterbilanz 474 kg/m<sup>3</sup> bzw. 525 kg/m<sup>3</sup> (unterhalb 2775 m) und für die Jahresbilanz 546 kg/m<sup>3</sup> bzw. 900 kg/m<sup>3</sup> für

Höhenstufen unterhalb der ELA (3193 m) verwendet. Die geodätische Winterbilanz ist mit 1386 mm w.e. annähernd ident mit der glaziologischen (Tabelle 7). Die mittlere spezifische Jahresbilanz aus der geodätischen Methode entspricht -1312 mm w.e. und liegt gerade noch innerhalb der Messungenauigkeit beider Methoden, die +/-140 mm w.e. (geodätisch) und +/-210 mm w.e. (glaziologisch) beträgt (Klug et al., 2018).

Der Unterschied zur glaziologischen Bilanz besteht im Wesentlichen darin, dass der Gletscherteil des LJF für den TLS topographisch abgeschattet ist und sich somit die Gletscherfläche unterscheidet. In Jahren mit starker Eisablation neigt der TLS eben jene überzugewichten, weil die Massentrüklagen in den Becken aufgrund flacher Sacnwinkel nicht hinreichend erfasst werden können. Im Gegensatz dazu deckt der TLS Höhenstufen des HEF ab, die aufgrund ihrer Unzugänglichkeit glaziologisch nicht gemessen werden können. Diese besitzen aber eine sehr geringe Flächenausdehnung, sodass sie auf die Gesamtmassenbilanz keine Auswirkungen haben. Auf eine Korrektur der Fließdynamik für einzelne Höhenstufen wurde verzichtet, da die geodätische Methode hier lediglich als Vergleich bzw. Verifizierung der gemessenen gletscherweiten Bilanz dient. Eine ausführliche Diskussion der Vergleichbarkeit der beiden Methoden findet sich in Klug et al. (2018).

*Tabelle 7: Gegenüberstellung der glaziologischen und geodätischen Massenbilanzen der letzten Jahre.*

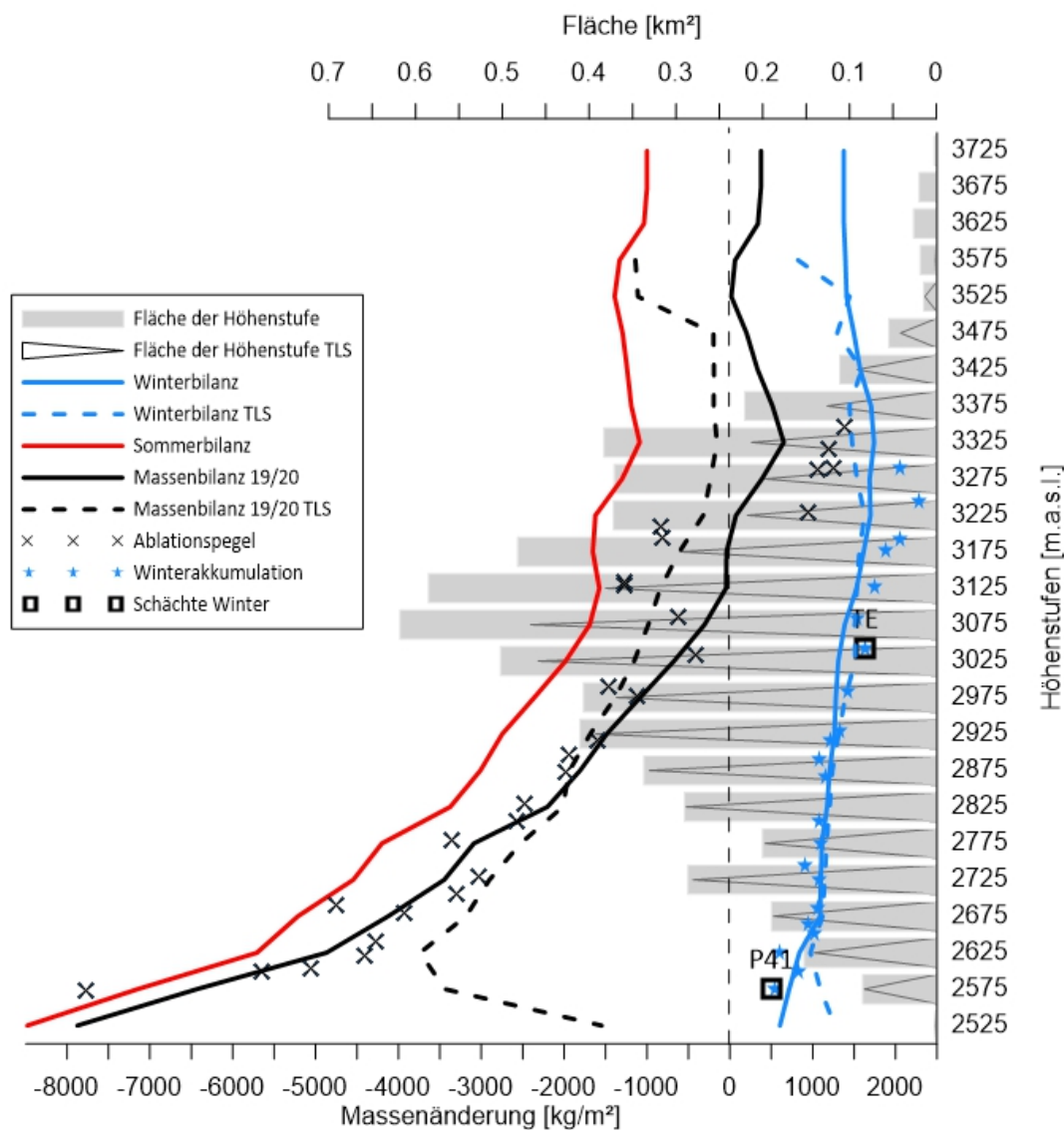
| <i>Jahr</i> | <i>b<sub>w</sub> glaz.</i><br><i>[kg/m<sup>2</sup>]</i> | <i>b<sub>w</sub> geod.</i><br><i>[kg/m<sup>2</sup>]</i> | <i>Differenz</i><br><i>[kg/m<sup>2</sup>]</i> | <i>b glaz.</i><br><i>[kg/m<sup>2</sup>]</i> | <i>b geod.</i><br><i>kg/m<sup>2</sup></i> | <i>Differenz</i><br><i>[kg/m<sup>2</sup>]</i> |
|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 2016/17     | 892   | 791   | -101  | -1826                                       | -1822                                     | 4   |
| 2017/18     | 1207  | 1277  | 70  | -1963                                       | -2084                                     | -121  |
| 2018/19     | 1650  | 1564  | -86   | -680  | -687                                      | -7  |
| 2019/20     | 1396  | 1386  | -10   | -970  | -1312                                     | -342  |

### C.3 Atmosphärische Deposition am Hintereisferner

Im Rahmen der Messung der Winterbilanz wurden Schneeproben im Schacht TE gezogen. Die Analyse des pH-Wertes und der Leitfähigkeit zeigten, dass die Schneedecke bereits komplett durchfeuchtet war und somit die Ionensignatur durch Perkolation des Schmelzwassers gestört ist. Das heißt, die Ionenkonzentrationen entsprechen nicht mehr ihrer stratigraphischen (und somit chronologischen) Lage in der Schneedecke, wo sie einst deponiert wurden. Eine nähere Untersuchung ist aufgrund der Einschränkungen der COVID-19 Pandemie noch nicht erfolgt, aber vermutlich ohnehin ergebnislos.

## Massenhaushalt Hintereisferner 2019/20

Höhenverteilung der glaziologischen und geodätischen Massenbilanzen, der Massenbilanz an den einzelnen Pegeln und Flächen der Höhenstufen



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 12: Die vertikalen Bilanzprofile nach der glaziologischen und geodätischen (TLS) Methode am Hintereisferner im Haushaltsjahr 2019/20.



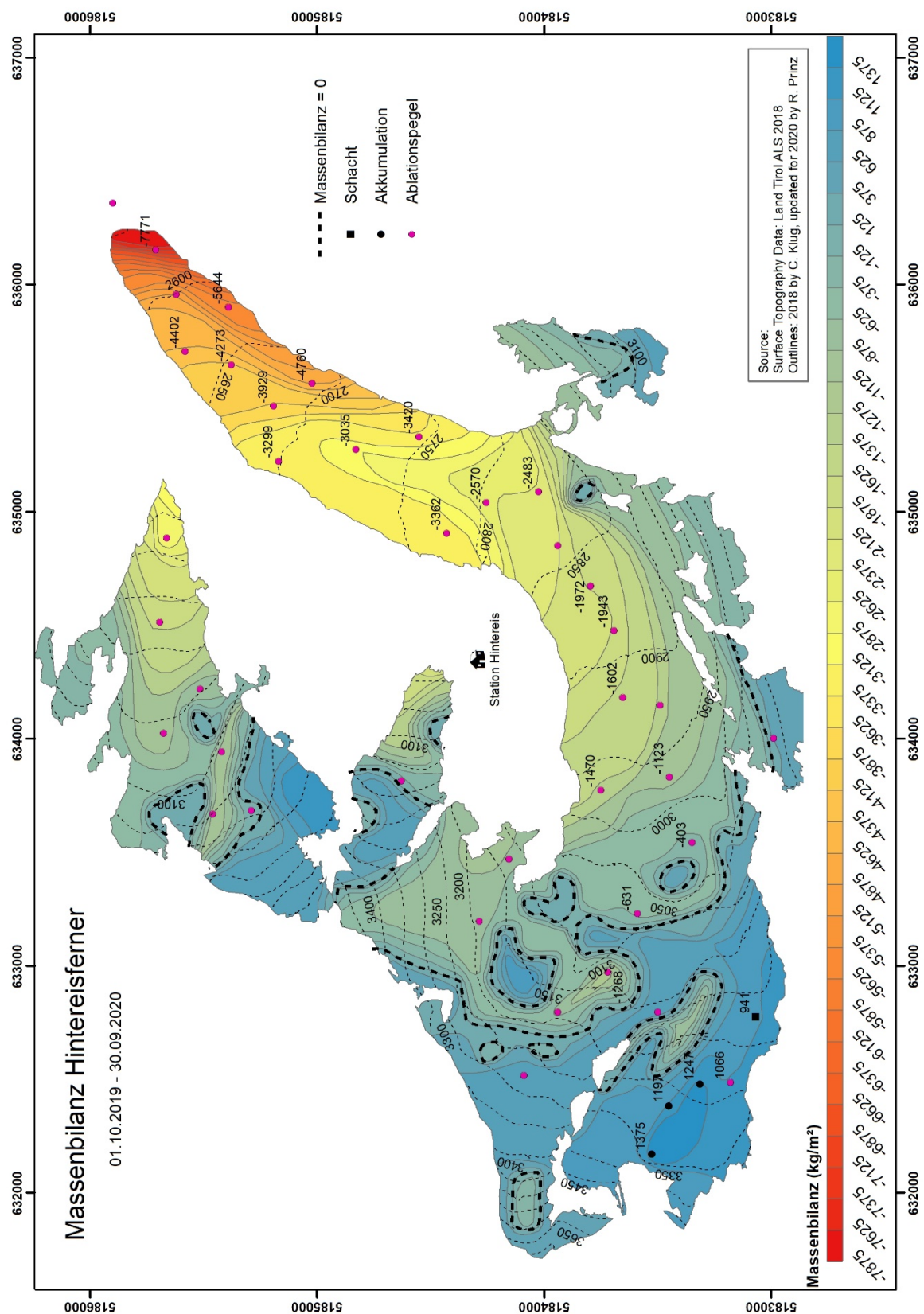


Abbildung 13: Die räumliche Verteilung der Massenbilanz am Hintereisferner im Haushaltsjahr 01.10.2019 – 30.09.2020.

Tabelle 8: Kennzahlen und glaziologische Massenbilanzen des Hintereisferners im Haushaltsjahr 2019/20 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

|  | Winter                            |                       |                                      | Sommer                |                      | gesamtes Jahr                       |                      |
|--|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
|  | Fläche                            | B <sub>w</sub>        | b <sub>w</sub>                       | B <sub>s</sub>        | b <sub>s</sub>       | B                                   | b                    |
|  | [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ]                 | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.]               | [kg/m <sup>2</sup> ] |
|  | 6142                              | 8573260               | 1396                                 | -14531974             | -2366                | -5958713                            | -970                 |
| S <sub>C</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | 1941                              |                       | B <sub>C</sub> [m <sup>3</sup> w.e.] | 1139775               |                      | b <sub>C</sub> [kg/m <sup>2</sup> ] | 587                  |
| S <sub>A</sub> [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | 4201                              |                       | B <sub>A</sub> [m <sup>3</sup> w.e.] | -7098488              |                      | b <sub>A</sub> [kg/m <sup>2</sup> ] | -1690                |
| ELA  | 3193                              | m a.s.l.              | S <sub>C</sub> /S <sub>A</sub>       | 0.462                 |                      | AAR                                 | 0.316                |
| <b>Winterbilanz</b>                              |                                   |                       |                                      | <b>Sommerbilanz</b>   |                      | <b>Jahresbilanz</b>                 |                      |
| Höhenstufe                                       | Fläche                            | B <sub>w</sub>        | b <sub>w</sub>                       | B <sub>s</sub>        | b <sub>s</sub>       | B                                   | b                    |
| [m.a.s.l.]                                       | [10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ]                 | [m <sup>3</sup> w.e.] | [kg/m <sup>2</sup> ] | [m <sup>3</sup> w.e.]               | [kg/m <sup>2</sup> ] |
| 2525   | 1                                 | 674                   | 604                                  | -9459                 | -8479                | -8785                               | -7875                |
| 2575   | 85                                | 60681                 | 716                                  | -606214               | -7148                | -545533                             | -6433                |
| 2625   | 153                               | 128042                | 840                                  | -870360               | -5707                | -742318                             | -4867                |
| 2675   | 190                               | 206992                | 1089                                 | -990747               | -5213                | -783755                             | -4124                |
| 2725   | 286                               | 314152                | 1098                                 | -1301104              | -4546                | -986953                             | -3448                |
| 2775   | 200                               | 222291                | 1110                                 | -840906               | -4199                | -618615                             | -3089                |
| 2825   | 290                               | 340383                | 1173                                 | -979612               | -3376                | -639230                             | -2203                |
| 2875   | 337                               | 405247                | 1203                                 | -1014139              | -3010                | -608892                             | -1808                |
| 2925   | 411                               | 518116                | 1262                                 | -1128327              | -2748                | -610211                             | -1486                |
| 2975   | 406                               | 519616                | 1278                                 | -959613               | -2361                | -439997                             | -1083                |
| 3025   | 502                               | 656939                | 1308                                 | -996056               | -1983                | -339117                             | -675                 |
| 3075   | 618                               | 856353                | 1386                                 | -1045343              | -1692                | -188991                             | -306                 |
| 3125   | 585                               | 894832                | 1529                                 | -921916               | -1575                | -27084                              | -46                  |
| 3175   | 482                               | 778304                | 1613                                 | -797960               | -1654                | -19657                              | -41                  |
| 3225   | 372                               | 631542                | 1697                                 | -603998               | -1623                | 27544                               | 74                   |
| 3275   | 371                               | 626052                | 1687                                 | -482561               | -1300                | 143491                              | 387                  |
| 3325   | 383                               | 666133                | 1740                                 | -417001               | -1089                | 249132                              | 651                  |
| 3375   | 221                               | 376175                | 1704                                 | -262779               | -1190                | 113396                              | 514                  |
| 3425   | 111                               | 175164                | 1573                                 | -138018               | -1239                | 37146                               | 334                  |
| 3475   | 55                                | 82169                 | 1496                                 | -71104                | -1295                | 11065                               | 201                  |
| 3525   | 15                                | 20652                 | 1408                                 | -20402                | -1391                | 251                                 | 17                   |
| 3575   | 19                                | 26157                 | 1394                                 | -24976                | -1331                | 1182                                | 63                   |
| 3625   | 26                                | 36031                 | 1375                                 | -27149                | -1036                | 8882                                | 339                  |
| 3675   | 20                                | 27441                 | 1375                                 | -19957                | -1000                | 7484                                | 375                  |
| 3725   | 2                                 | 3124                  | 1375                                 | -2272                 | -1000                | 852                                 | 375                  |
| <b>Summe</b>                                     | <b>6142</b>                       | <b>8573260</b>        | <b>1396</b>                          | <b>-14531974</b>      | <b>-2366</b>         | <b>-5958713</b>                     | <b>-970</b>          |

#### C.4 Massenbilanz Kesselwandferner

Der Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2019/20 liegen Messungen und Beobachtungen aus zwei Feldkampagnen an 15 Pegeln zugrunde (Tabelle 9 und Abbildung 17). Zur Messung der Dichte der Massenrücklage in Form von Altschnee wurde ein Schneeschacht angelegt.

Die Abschlussbegehung am KWF fand am 01.10.2020 statt. Die im September geplante Exkursion mit Studierenden des ACINN musste aufgrund der COVID-19 Maßnahmen abgesagt werden. Zur Extrapolation der Punktwerte auf die Gletscherfläche wurden Fotos zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung (20.09.2020) und eine Sentinel-2 Satellitenszene vom 18.09.2020 hinzugezogen (Abbildung 14). Die Punktwerte der Massenbilanz (Pegel und Schächte) sind in der Abbildung des vertikalen Bilanzprofils (Abbildung 16) und in der Bilanzkarte (Abbildung 17) eingetragen. Tabelle 10 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2019/20.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Kesselwandferners für das hydrologische Haushaltsjahr

01.10.2019 – 30.09.2020 beträgt:  $b = -522 \text{ mm w.e.}$ ,

das entspricht  $B = -1,852 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ Wasser}$

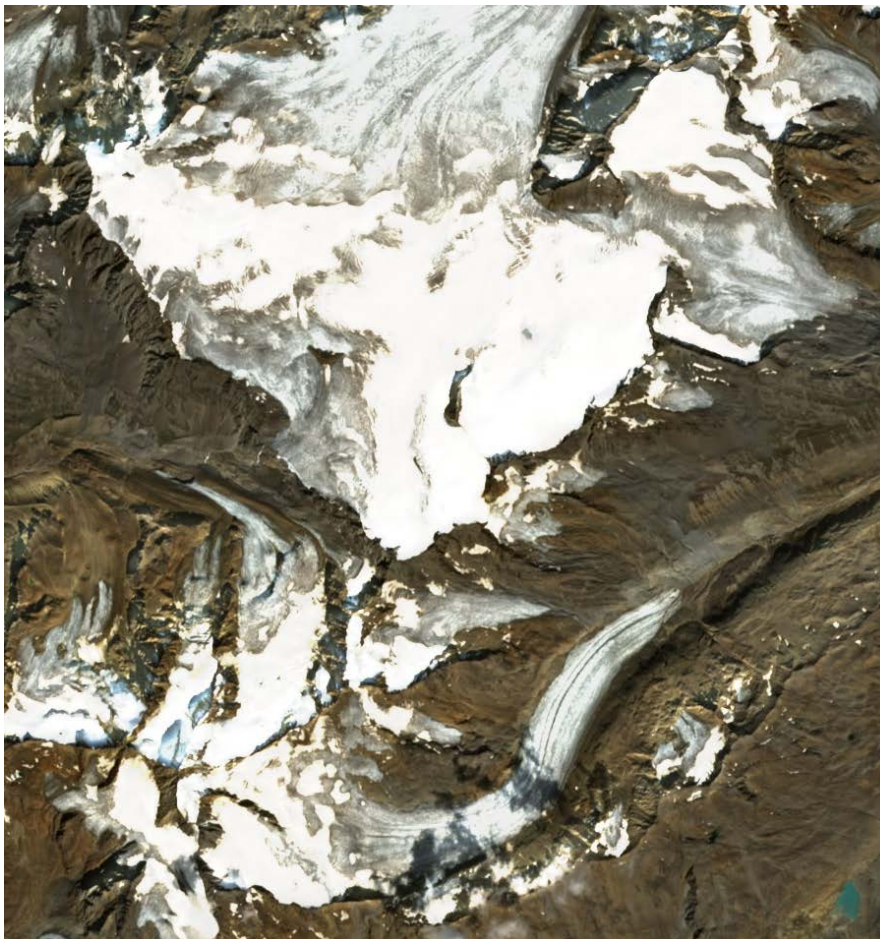


Abbildung 14: Sentinel-2 Satellitenszene vom 18.09.2020 zur Bestimmung der Schneegrenze am KWF.

Tabelle 9: KWF, Haushaltsjahr 2019/20: Die Massenänderung an den einzelnen Messpunkten und zwischen den Ablesezeitpunkten.

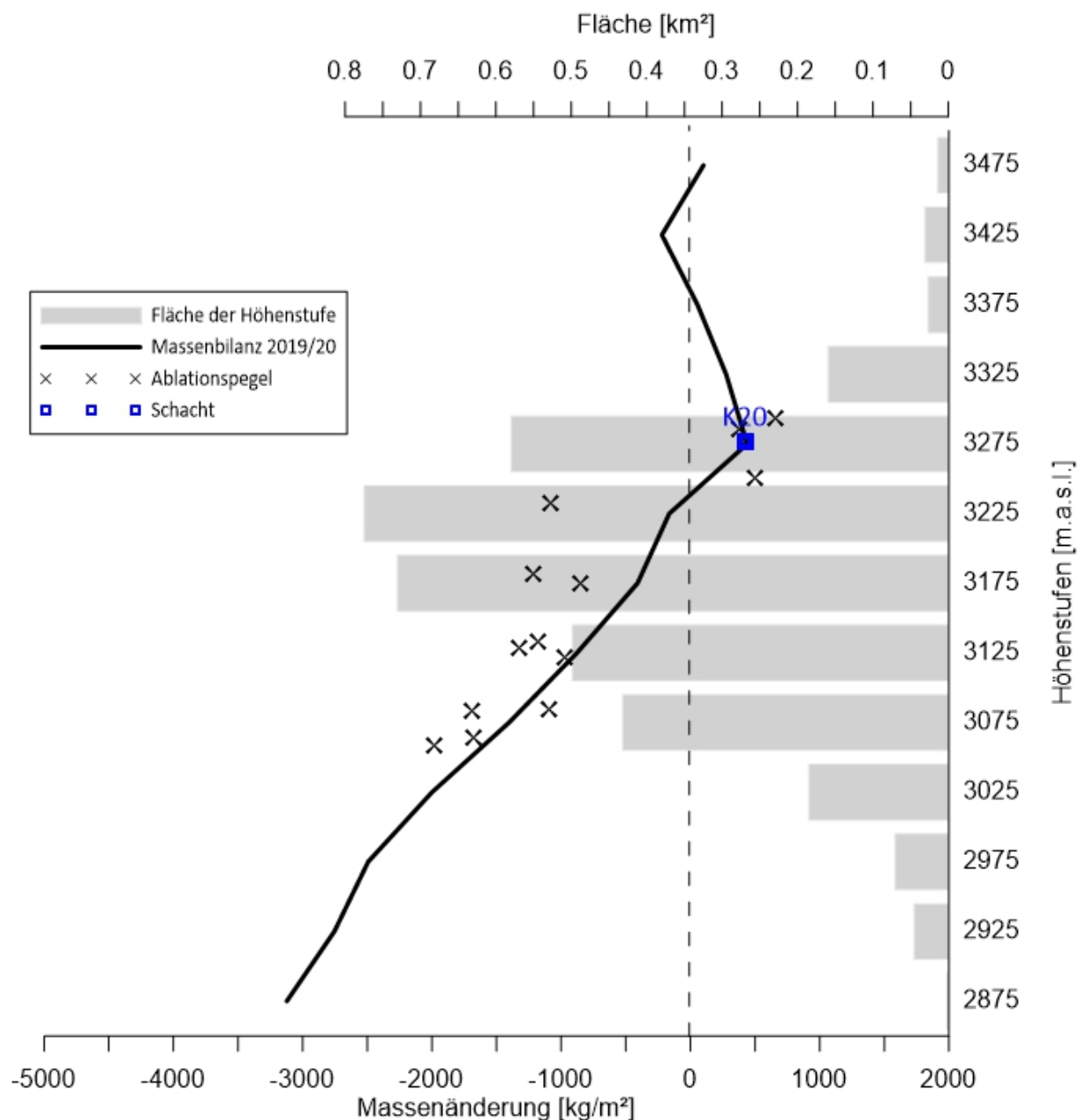
| Name  | Ablation (cm) |        | Akkumulation (kg/m <sup>2</sup> ) |        | Massenbilanz<br>2019/20 (kg/m <sup>2</sup> ) |
|---|---------------|--------|-----------------------------------|--------|--|
|   | 20.08.        | 01.10. | Sep.19                            | Sep.20 |  |
| K3  |               |        | 20                                | 14     |  |
| K4  | 112           | 74     | 29                                | 14     | -1689  |
| K5  | 89            | 102    | 32                                | 74     | -1677  |
| K6  | 105           | 126    | 34                                | 131    | -1983  |
| K8  | 33            | 90     | 24                                | 43     | -1089  |
| K9  | 26            | 90     | 24                                | 97     | -971   |
| K10   | 45            | 93     | 37                                | 97     | -1182  |
| K12   | 10            | 93     | 27                                | 101    | -853   |
| K14   | 71            | 78     | 37                                | 57     | -1321  |
| K16   | 48            | 93     | 37                                | 88     | -1218  |
| K18   | 21            | 104    | 49                                | 88     | -1086  |
| K19   |               | 0      | Aus                               |        | 379  |
| K20   |               |        | Schneehöhenmessunge               |        | 425  |
| SS1   |               |        | n. Dichtemessung aus              |        | 661  |
| SS2   |               |        | Schacht K20                       |        | 494  |
| aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt       |               |        |                                   |        |  |
| Neuschneedichte September 2019: 244 kg/m <sup>3</sup> |               |        |                                   |        |  |
| Neuschneedichte September 2020: 284 kg/m <sup>3</sup> |               |        |                                   |        |  |
| Altschneedichte September 2020: 540 kg/m <sup>3</sup> |               |        |                                   |        |  |



Abbildung 15: Blick von Pegel K14 über die mittleren und oberen Bereiche des KWF zum Fluchtkogel.  
Foto: Rainer Prinz, 20.08.2020.

## Massenhaushalt Kesselwandferner 2019/20

Höhenverteilung der spezifischen Massenbilanzen, der Massenbilanz an den einzelnen Pegeln und Flächen der Höhenstufen



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 16: Das vertikale Bilanzprofil am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 2019/20.

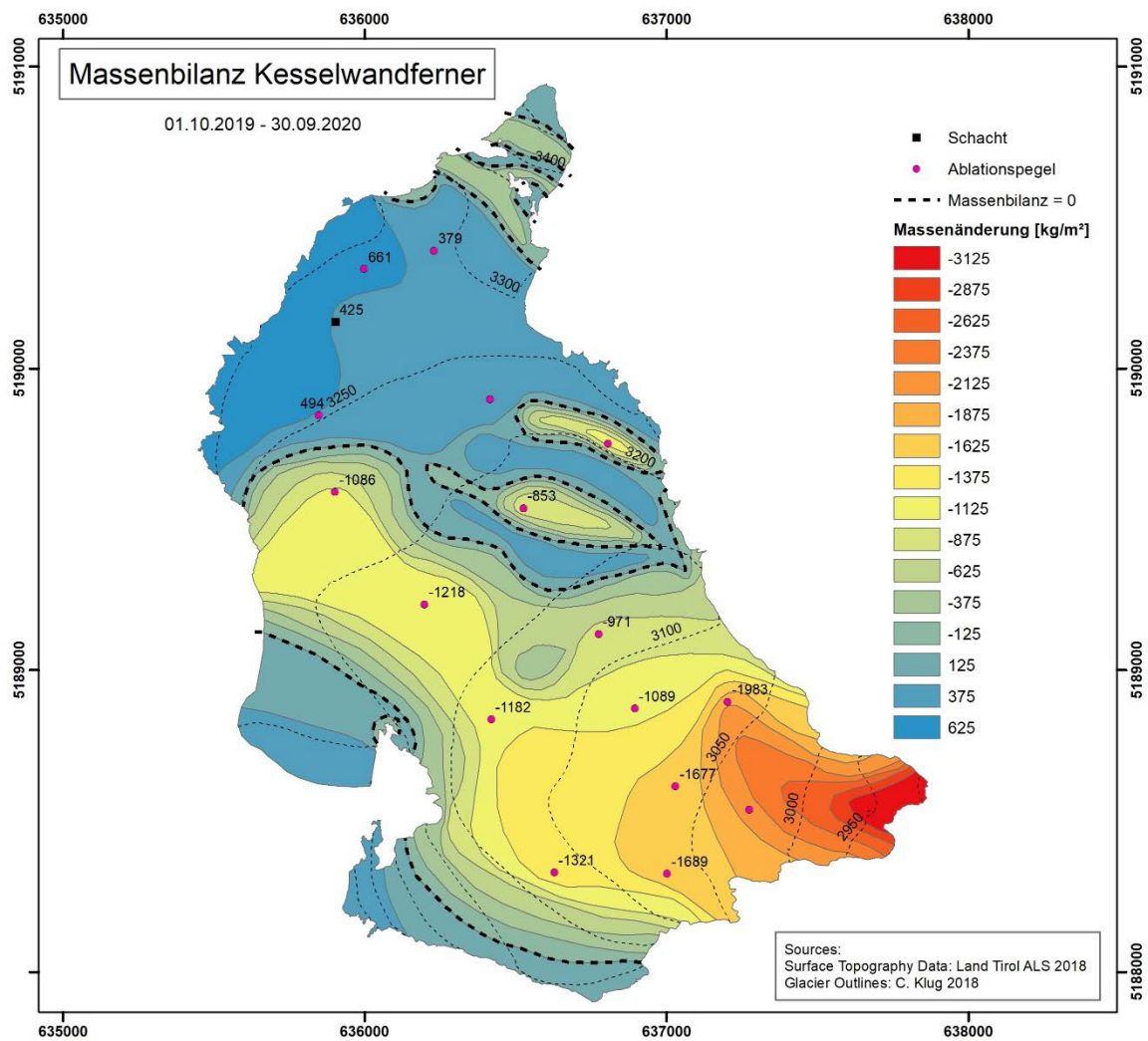


Abbildung 17: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 01.10.2019 – 30.09.2020.

Tabelle 10: Kennzahlen und Massenbilanz des Kesselwandfenners im Haushaltsjahr 2018/19 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

|   |  | gesamtes Jahr                                      |   |                       |  |                                |              |
|---|--|--|---|-----------------------|--|--------------------------------|--------------|
|   | <b>Fläche</b><br>[10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | <b>B</b><br>[m <sup>3</sup> w.e.]                  | <b>b</b><br>[mm w.e.]                     |                       |  |                                |              |
|   | <b>3549</b>  | <b>-1851588</b>                                    | <b>-522</b>                               |                       |  |                                |              |
| <b>S<sub>C</sub> [10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>]</b> | <b>1372</b>  |  | <b>B<sub>C</sub> [m<sup>3</sup> w.e.]</b> | <b>470231</b>         |  | <b>b<sub>C</sub> [mm w.e.]</b> | <b>343</b>   |
| <b>S<sub>A</sub> [10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>]</b> | <b>2177</b>  |  | <b>B<sub>A</sub> [m<sup>3</sup> w.e.]</b> | <b>-2321819</b>       |  | <b>b<sub>A</sub> [mm w.e.]</b> | <b>-1067</b> |
| <b>ELA</b>  | <b>3239</b>  | m.a.s.l  | <b>S<sub>C</sub>/S<sub>A</sub></b>        | <b>0.630</b>          |  | <b>AAR</b>                     | <b>0.387</b> |
| <b>Jahresbilanz</b>                                 |  |  |   |                       |  |                                |              |
|   | <b>Höhenstufe</b><br>[m.a.s.l.]                    | <b>Fläche</b><br>[10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> ] | <b>B</b><br>[m <sup>3</sup> w.e.]         | <b>b</b><br>[mm w.e.] |  |                                |              |
|   | 2875   | 2  | -5522                                     | -3123                 |  |                                |              |
|   | 2925   | 45   | -124580                                   | -2755                 |  |                                |              |
|   | 2975   | 71   | -175939                                   | -2494                 |  |                                |              |
|   | 3025   | 185  | -369439                                   | -1999                 |  |                                |              |
|   | 3075   | 432  | -606274                                   | -1403                 |  |                                |              |
|   | 3125   | 499  | -437920                                   | -878                  |  |                                |              |
|   | 3175   | 731  | -299283                                   | -410                  |  |                                |              |
|   | 3225   | 775  | -126708                                   | -164                  |  |                                |              |
|   | 3275   | 580  | 254165                                    | 439                   |  |                                |              |
|   | 3325   | 159  | 43904                                     | 275                   |  |                                |              |
|   | 3375   | 27   | 1439                                      | 54                    |  |                                |              |
|   | 3425   | 31   | -6834                                     | -221                  |  |                                |              |
|   | 3475   | 14   | 1403                                      | 101                   |  |                                |              |
|   | <b>Summe</b>                                       | <b>3549</b>  | <b>-1851588</b>                           | <b>-522</b>           |  |                                |              |

## C.5 Niederschlagsmessungen im Rofental

Die Niederschlagsmessungen im Rofental werden mit Totalisatoren an abgelegenen Standorten, sowie einer Niederschlagswaage in Vent durchgeführt. Die Lage der Totalisatoren im Rofental zeigt Abbildung 3, die Koordinaten sind in Tabelle 11 angeführt. Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse der Ablesungen im Haushaltsjahr 2019/20. In diesem Kapitel wird, im Unterschied zum hydrologischen Winterhalbjahr, der 31.03. als Ende des Winterhalbjahres geführt, da es zum 01.05. keine Ablesung gibt. Die Totalisatoren wurden regelmäßig nahe zu den Ablesedaten 01.08. und 01.10. sowie bei Gelegenheit im Rahmen der Feldkampagnen im Rofental besucht (siehe Kapitel D.3.1, Tabelle 18). Die Ablestermine 01.04. und 01.06. konnten aufgrund der arbeitsrechtlichen Bestimmungen im Zuge der COVID-19 Pandemie nicht eingehalten werden.

Ebenso verbieten mittlerweile Bestimmungen der Arbeitssicherheit der Universität Innsbruck das Besteigen der Totalisatoren im derzeitigen Zustand. Eine bauliche Abänderung der Messeinrichtung entsprechend der Arbeitssicherheitsbestimmungen und der Messprinzipien ist nicht finanzierbar. Deshalb wird das Messnetz der Totalisatoren mit Ende des HHJ 2019/20 aufgelassen. Mittlerweile stehen jedoch an fünf der sieben Totalisatorstandorte elektronische Niederschlagswaagen, welche die Niederschlagsmessung im Rofental fortführen. Lediglich die Standorte Rofenberg und Hochjochhospiz sind zumindest kurzfristig mit keiner Niederschlagsmessung ausgestattet. Im November 2020 wurde am ACINN eine Masterarbeit zum Niederschlag im Rofental übernommen, die unter anderem auch die die Messwerte zwischen den Totalisatoren und den Niederschlagswaagen homogenisieren soll.

*Tabelle 11: Koordinaten der Totalisatoren im Rofental.*

| Messstelle      | WGS84 Zone 32T |         |         |        | Höhe (m) |
|-----------------|----------------|---------|---------|--------|----------|
|                 | Breite         | Länge   | UTM Y   | UTM X  |          |
| Vent            | 46,8577        | 10,9113 | 5191120 | 645689 | 1900     |
| Hochjochhospiz  | 46,8231        | 10,8262 | 5187125 | 639291 | 2360     |
| Vernagtbrücke   | 46,8546        | 10,8298 | 5190632 | 639486 | 2640     |
| Proviantdepot   | 46,8295        | 10,8241 | 5187834 | 639115 | 2737     |
| Rofenberg       | 46,8085        | 10,7934 | 5185442 | 636833 | 2827     |
| Latschbloder    | 46,8012        | 10,8056 | 5184653 | 637780 | 2910     |
| Hintereisferner | 46,7973        | 10,7610 | 5184141 | 634382 | 2970     |



Tabelle 12: Niederschlagsmengen (mm) im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache im hydrologischen Jahr 2019/20.

| Messstelle  | Vent N-Waage | Vent   | Hochjochospiz | Vernagtbrücke | Proviandepot | Rofenberg 1 | Latschbloder | Station Hintereis |
|---|--------------|--------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|
| Seehöhe   | 1900 m       | 1900 m | 2360 m        | 2640 m        | 2737 m       | 2827 m      | 2910 m       | 2970 m            |
| <b>Jahr</b>   |              |        |               |               |              |             |              |                   |
| 01.10.2019 - 30.09.2020   | 744          | 873    | 976           | 1146          | 1035         | 0           | 1101         | 1495              |
| Verhältnis zu Vent N-Waage  |              | 1.17   | 1.31          | 1.54          | 1.39         | 0.00        | 1.48         | 2.01              |
| <b>Winter</b>   |              |        |               |               |              |             |              |                   |
| 01.10.2019- 31.03.2020  | 326          | 384    | 433           | 502           | 456          | 0           | 482          | 655               |
| Verhältnis zu Vent N-Waage  |              | 1.18   | 1.33          | 1.54          | 1.40         | 0.00        | 1.48         | 2.01              |
| <b>Sommer</b>   |              |        |               |               |              |             |              |                   |
| 01.04.2020 - 30.09.2020   | 418          | 489    | 542           | 644           | 579          | 0           | 619          | 841               |
| Verhältnis zu Vent N-Waage  |              | 1.17   | 1.30          | 1.54          | 1.38         | 0.00        | 1.48         | 2.01              |
| 1) Totalisator Rofenberg konnte im Oktober 2019 nicht entleert, somit nicht befüllt werden. Zusätzlich verhinderten die Abreitseinschränkungen aufgrund der COVID-19 Pandemie weitere Ablesungen. |              |        |               |               |              |             |              |                   |

Tabelle 13: Niederschlagsmengen (mm) an den Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache nach Monaten im hydrologischen Jahr 2019/20.

| Messstelle  | Höhe   | X    | XI   | XII  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | HHJ 2019/20 |
|---|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Vent N-Waage  | 1906 m | 54   | 151  | 57   | 13   | 26   | 26   | 21   | 44   | 101  | 55   | 150  | 48   | 744         |
| <b>Vent Totalisator</b>   | 1900 m | 53   | 148  | 76   | 36   | 36   | 35   | 28   | 48   | 129  | 72   | 155  | 58   | 873         |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 0.98 | 0.98 | 1.35 | 2.71 | 1.38 | 1.38 | 1.38 | 1.08 | 1.28 | 1.32 | 1.03 | 1.20 |             |
| <b>Hochjochospiz</b>  | 2360 m | 71   | 201  | 75   | 18   | 34   | 34   | 27   | 59   | 134  | 63   | 197  | 63   | 976         |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.15 | 1.31 | 1.31 |             |
| <b>Vernagtbrücke</b>  | 2640 m | 83   | 232  | 87   | 20   | 40   | 39   | 32   | 68   | 155  | 84   | 231  | 74   | 1146        |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 | 1.54 |             |
| <b>Proviandepot</b>   | 2737 m | 75   | 211  | 79   | 18   | 36   | 36   | 29   | 62   | 141  | 76   | 200  | 71   | 1035        |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.33 | 1.48 |             |
| <b>Rofenberg <sup>1</sup></b>   | 2827 m | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0           |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |
| <b>Latschbloder</b>   | 2910 m | 79   | 223  | 84   | 20   | 38   | 38   | 30   | 66   | 149  | 81   | 222  | 71   | 1101        |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.48 |             |
| <b>Hintereisferner</b>  | 2970 m | 108  | 303  | 114  | 27   | 52   | 51   | 41   | 89   | 202  | 110  | 302  | 96   | 1495        |
| Verhältnis zur N-Waage Vent   |        | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 | 2.01 |             |
| 1) Totalisator Rofenberg konnte im Oktober 2019 nicht entleert, somit nicht befüllt werden. Zusätzlich verhinderten die Abreitseinschränkungen aufgrund der COVID-19 Pandemie weitere Ablesungen. |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |

### C.5.1 Vergleich der Niederschlagsmessungen im Rofental

Im Folgenden sollen ausgewählte Niederschlagsmessungen im Rofental aus Messeinrichtungen des ACINN und des Sachgebietes Hydrographie und Hydrologie der Abteilung Wasserwirtschaft des Landes Tirol (HD Tirol) verglichen werden.

Die beiden Niederschlagswaagen in Vent liefern ähnliche Werte, wobei die Waage des HD Tirol immer etwas höhere Werte registriert. Fast 2/3 der Differenz zwischen den Waagen ergibt sich in den Wintermonaten Nov.-Feb. Die Ursache liegt vermutlich in den Standorten, der im Fall der Waage des HD etwas windgeschützter als der freie Standort des ACINN erscheint. Besonders in Monaten mit Schneeniederschlag verzeichnet auch der Totalisator meist mehr Niederschlag als die Waagen (Abbildung 18). Dies liegt vermutlich am Windfang rund um die Auffangfläche, den beide Niederschlagswaagen nicht aufweisen. Die Jahressummen des Niederschlages liegen zwischen 744 mm (Waage ACINN), 833 mm (Waage HD) und 873 mm (Totalisator).

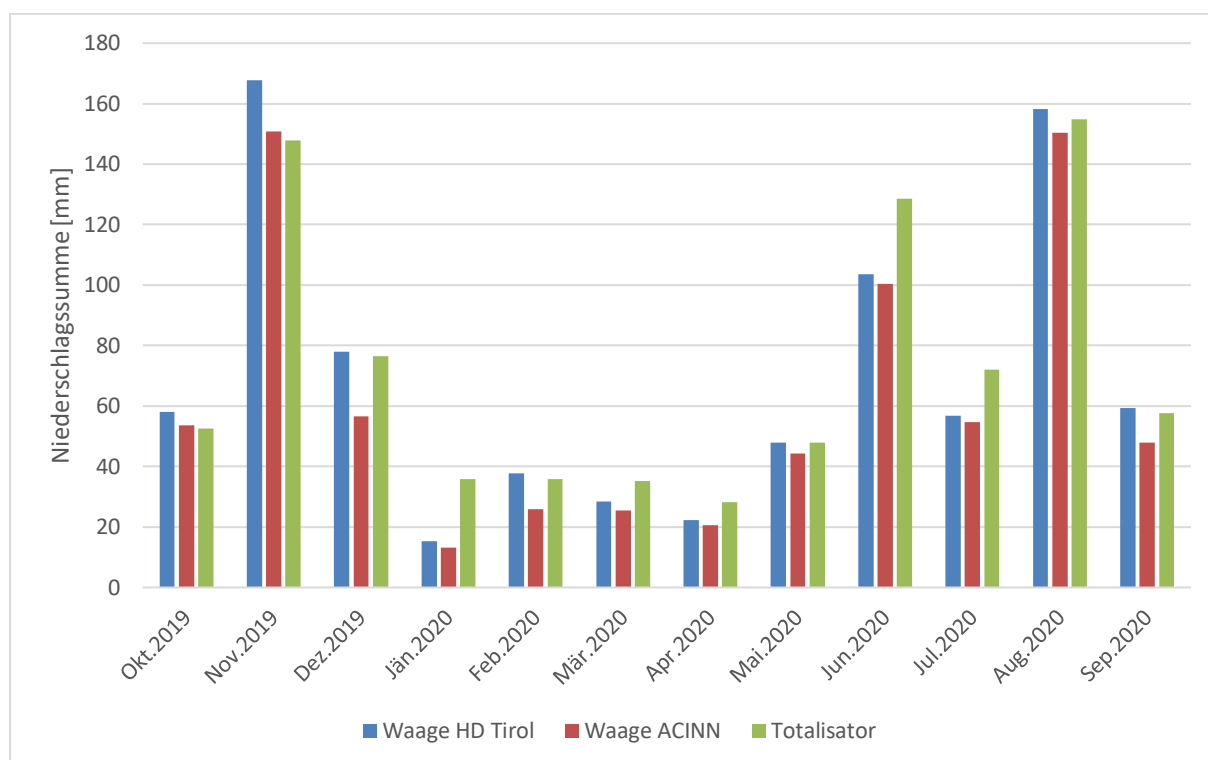


Abbildung 18: Vent: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaagen des HD Tirol bzw. des ACINN und des Totalisators des ACINN.

Ein Vergleich der Niederschlagsmessungen in Vent (1900 m, Waage), Martin-Busch-Hütte (2470 m, Waage), Vernagt (2640 m, Waage) und dem Totalisator Hintereisferner (2970 m) zeigt einen deutlichen Höhengradienten im Niederschlag, besonders in den Sommermonaten, in denen konvektive Niederschläge dominieren (Abbildung 19). Das Starkniederschlagsereignis Ende August tritt deutlich hervor. Die großen Niederschlagsmengen im November 2019 fielen während einer starken

Südstaulage. Ähnlich dem Ereignis von Oktober 2018 verzeichneten die nahe am Hauptkamm gelegenen Messstationen Martin-Busch-Hütte und Hintereisferner wesentlich höhere Niederschläge als jene im Tal oder etwas weiter nördlich.

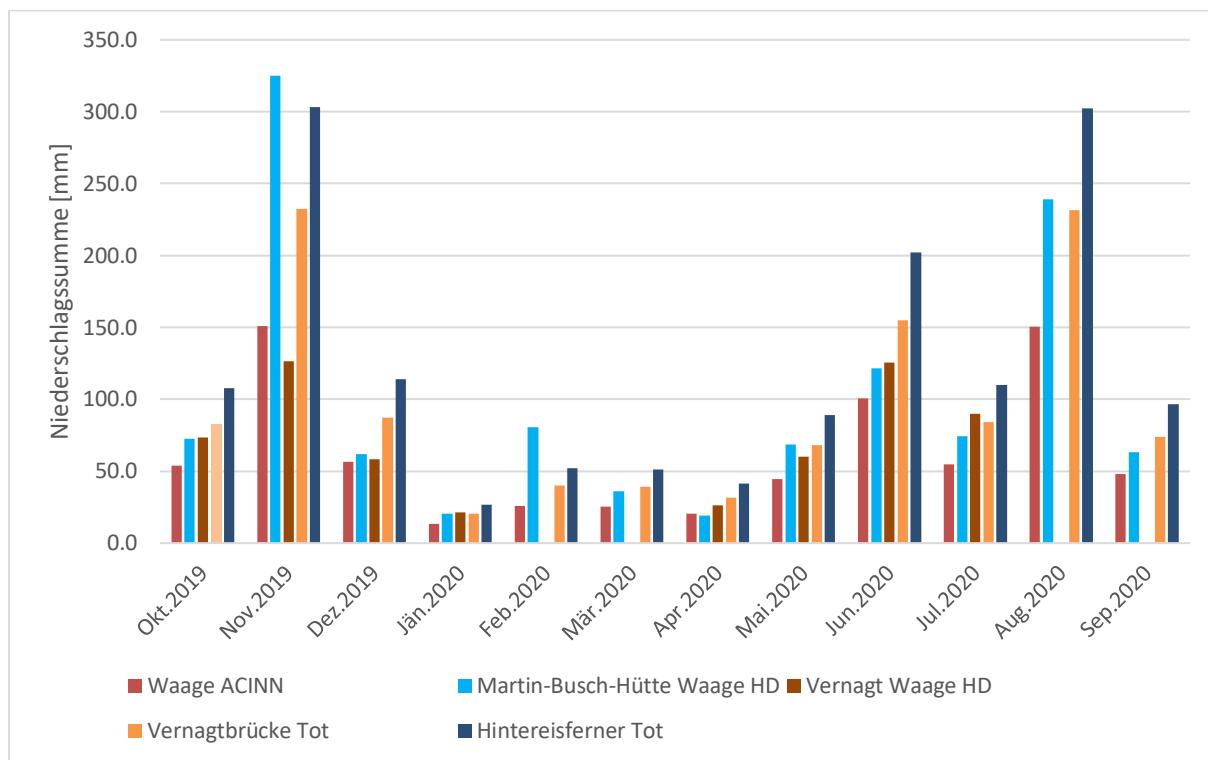


Abbildung 19: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaagen Vent, Martin-Busch-Hütte und Vernagt, sowie den Totalisatoren Vernagtbrücke und Hintereisferner.

---

## C.6 Literaturverzeichnis

- Braithwaite, R. J.: Temperature and precipitation climate at the equilibrium-line altitude of glaciers expressed by the degree-day factor for melting snow, *Journal of Glaciology*, 54(186), 437–444, doi:10.3189/002214308785836968, 2008.
- Cogley, J. G., Hock, R., Rasmussen, L. A., Arendt, A. A., Bauder, A., Braithwaite, R. J., Jansson, P., Kaser, G., Möller, M., Nicholson, L. and Zemp, M.: Glossary of Mass Balance and Related Terms, UNESCO-IHP, Paris., 2011.
- Hoinkes, H.: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 6(1–2), 37–90, 1970.
- Hoinkes, H. and Steinacker, R.: Zur Parametrisierung der Beziehung Klima - Gletscher, *Rivista Italiana di Geofisica e Scienze Affini*, 1, 97–103, 1975.
- Klug, C., Bollmann, E., Galos, S. P., Nicholson, L., Prinz, R., Rieg, L., Sailer, R., Stötter, J. and Kaser, G.: Geodetic reanalysis of annual glaciological mass balances (2001–2011) of Hintereisferner, Austria, *The Cryosphere*, 12, 833–849, doi:10.5194/tc-12-833-2018, 2018.
- Lang, H., Schädler, B. and Davidson, G.: Hydroglaciological investigations on the Ewigschneefeld - Gr. Aletschgletscher, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 12(2), 109–124, 1977.

## C.7 Verzeichnis verwendeter Akronyme und Symbole

| Akronym | Bedeutung   | Einheit |
|---------|---|---------|
| AAR     | Accumulation Area Ratio   |         |
| ALS     | airborne laserscanning  |         |
| AWS     | automatische Wetterstation  |         |
| DGPS    | differential global positioning system  |         |
| ELA     | Höhe der Gleichgewichtslinie  | m       |
| HEF     | Hintereisferner   |         |
| IGI     | Institut für Geografie der Universität Innsbruck                                  |         |
| ACINN   | Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften der Universität Innsbruck |         |
| KWF     | Kesselwandferner  |         |
| LJF     | Langtaufererjochferner  |         |
| SF      | Stationsferner  |         |
| TLS     | Terrestrischer Laserscanner (Im Hinteren Eis)                                     |         |
| VBP     | vertikales Bilanzprofil   |         |
| VF      | Vernagtferner   |         |
| w.e.    | Wasseräquivalent  |         |
| WGMS    | World Glacier Monitoring Service  |         |

| Symbol | Bedeutung                         | Einheit  |
|--------|-----------------------------------|--|
| B      | Gesamtmassenbilanz                | $\text{m}^3 \text{ w.e.} \equiv 10^3 \text{ kg}$ |
| b      | (flächen)spezifische Massenbilanz | $\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$         |
| a      | (flächen)spezifische Ablation     | $\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$         |
| c      | (flächen)spezifische Akkumulation | $\text{mm w.e.} \equiv \text{kg m}^{-2}$         |
| S      | Gletscherfläche                   | $\text{m}^2$                                     |

| Subskript | Bedeutung  |
|-----------|--|
| A         | Ablation (z.B.: $B_A$ : Gesamtmassenbilanz der Gletscherteilfläche mit Netto-Ablation) |
| C         | Akkumulation   |
| W         | hydrologisches Winterhalbjahr  |
| S         | hydrologisches Sommerhalbjahr  |
| fix       | nach fixem Datum (01.10. – 30.09.)   |
| nat       | nach dem natürlichen Haushaltsjahr   |
| z         | Höhe   |

## D.1 Geleistete Arbeiten

### D.1.1 Feldkampagnen

Die Feldkampagnen in der Saison 2019/20 im Rofental erforderten sechs Arbeitseinsätze am HEF und zwei am KWF, die zum Teil mehrtägig absolviert wurden. Am HEF wurden 11 Pegel, am KWF 7 Pegel neu gebohrt, mehrere Pegel wurden aufgrund der Unzugänglichkeit nicht mehr nachgebohrt. Zusätzlich wurde der Regenmesser in Vent nach Möglichkeit monatlich, jene im Rofental lediglich bei Gelegenheit abgelesen. Arbeitsrechtliche Einschränkungen aufgrund der COVID-19 Pandemie erschwerten die Beibehaltung eines regelmäßigen Ableserhythmus. Drei Kampagnen (Winterbilanz, Pegelbohrungen und Abschlussbegehung) wurden durch einen Hubschrauber unterstützt.

#### Personentage

- **21 Personentage – HEF Massenbilanz (+ Ablesung Totalisatoren)**
- **7 Personentage – KWF Massenbilanz (+ Ablesung Totalisatoren)**
- **10 Personentage – Ablesung Totalisatoren und Wartung AWS Vent**

**Personen:** Rainer Prinz, Colin Ronald, Annelies Voordendag, Christoph Klug, Alzbeta Medvedova, Leon Bührle, Lindsey Nicholson, Alexander Kehl, Andrea Meyer

Alle Kampagnen verliefen unfall- und verletzungsfrei.

Allen Teilnehmern sei hiermit für ihren Einsatz und ihr Engagement herzlichst gedankt!

### D.1.2 Messungen und Analysen

- Es wurden die Grundlagen für die Erstellung der Winter- und Jahresmassenbilanzen nach der glaziologischen Methode am HEF und am KWF (nur Jahresbilanz) gesammelt und ausgewertet, Zustand und Veränderung der Gletscheroberfläche im Lauf der Ablationsperiode dokumentiert und das Netz von Ablationspegeln gewartet.
- Die Gletscherfläche des HEF wurde anhand einer Sentinel-2 Satellitenszene aktualisiert.  
Auswertung der geodätischen Winter- und Jahresbilanz auf Basis von drei Lasercans: 30.09.2019, 07.05.2020, 01.10.2020
- Die Daten der Wetterstation in Vent wurden als Tageswerte der Lufttemperatur und des Niederschlages berechnet.
- Basierend auf den Messungen an der Niederschlagswaage in Vent, wurden die Regenmesserablesungen interpoliert und monatlich, halbjährlich und jährlich ausgewertet.

---

## D.2 Dokumentation der Feldarbeiten am Hintereisferner und am Kesselwandferner

### D.2.1 Feldkampagne 07.05.2020 – Winterbilanz am HEF

#### Ziel der Feldkampagne:

- Messung der Massenrücklage aus der Akkumulationsperiode 2019/20 zur Erstellung der Winterbilanz am Hintereisferner
- Wartung der Wetterstation im Hinteren Eis
- Scan der Gletscheroberfläche
- Probenahme für Schneechemieanalyse
- Ablesung Totalisator Vent, Sichtkontrolle Wetterstation Vent

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag, Alzbeta Medvedova – ACINN
- Leon Bührlle – Student, Institut für Geographie, Universität Innsbruck

#### Ausgeführte Arbeiten:

- Aufgrund der Einschränkungen durch die Eindämmung der Coronapandemie wurde uns von der Universitätsleitung nur ein Zeitfenster von einem Tag zur Verfügung gestellt. Die Arbeiten konnten also nur per An- und Abtransport mit einem Hubschrauber durchgeführt werden.
- Massenbilanz und Schneechemie: Von der Position HJ wurde an allen Pegeln, die in Falllinie (und somit einfach mit Ski) erreichbar waren, die Schneehöhe sondiert. Messungen zur Schneedichte und die Probenahmen zur Schneechemie erfolgten am Schacht TE. Ein weiterer Schneeschacht zur Dichtemessung wurde an der Zunge in der Nähe von Pegel 41 angelegt.
- Annelies Voordendag wurde im Hinteren Eis abgesetzt und konnte drei Scans der Gletscheroberfläche durchführen, die Messdaten der Wetterstationen abfragen, sowie Höhe und Ausrichtung der Ultraschallwindmesser neu vermessen.
- Der Totalisator in Vent wurde abgelesen und die Wetterstation in Vent grob kontrolliert – alle Systeme funktionieren einwandfrei.

#### Situation:

0°C auf ca. 3000 m, wolkenlos, schwach windig mit lebhaften Böen aus N. Schneedecke auf ca. 3100 m schon isotherm und Schmelzwasser perkoliert bis zum Eis. 50-10 cm Neuschnee von der wechselhaften Witterung seit ~27.04. Schöner Firnspiegel am Nachmittag.



Abbildung 20: Schacht TE am 07.05.2020. Foto: Rainer Prinz.





Abbildung 21: Schacht P41. Foto: Rainer Prinz, 07.05.2020.

Tabelle 14: Auswertung Schacht P41.

| Schacht P41                           |  |                 |             |                             |                  |                                 |
|---------------------------------------|--|-----------------|-------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------|
| Schacht: P41                          | H = 97 cm                                | X: 5185708      | Y: 636143   | Alt: 2575 m                 | Date:            | 07.05.2020                      |
| R. Prinz, A. Medvedova, L. Bührle     |  |                 |             |                             | Time:            | 15:50 MESZ                      |
| Abstich mit 1000 cm <sup>3</sup> Keil |  |                 |             |                             |                  |                                 |
| Höhe [cm]                             | Offset [cm]                              | Höhe korr. [cm] | Masse [g]   | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] | Schichthöhe [cm] | Wasserwert [kg/m <sup>2</sup> ] |
| 97                                    | 0  | 97              |             |                             |                  |                                 |
| 85                                    | 0  | 85              | 414         | 414                         | 12               | 50                              |
| 75                                    | 0  | 75              | 453         | 453                         | 10               | 45                              |
| 65                                    | 0  | 65              | 527         | 527                         | 10               | 53                              |
| 55                                    | 0  | 55              | 539         | 539                         | 10               | 54                              |
| 45                                    | 0  | 45              | 535         | 535                         | 10               | 54                              |
| 35                                    | 0  | 35              | 537         | 537                         | 10               | 54                              |
| 25                                    | 0  | 25              | 541         | 541                         | 10               | 54                              |
| 15                                    | 0  | 15              | 498         | 498                         | 10               | 50                              |
| 0                                     | 0  | 0               | 644         | 644                         | 15               | 97                              |
| <b>Gesamt:</b>                        |  |                 | <b>4688</b> | <b>525</b>                  | <b>97</b>        | <b>509</b>                      |
| Stratigraphie                         |  |                 |             |                             |                  |                                 |
| 97-85                                 | Schnee seit ~28.04.                      |                 |             |                             |                  |                                 |
| 85-0                                  | nass, schmutzig, nach unten hin sauberer |                 |             |                             |                  |                                 |
| 0                                     | Eisoberfläche 2019                       |                 |             |                             |                  |                                 |
| isotherm 0°C                          |  |                 |             |                             |                  |                                 |

Tabelle 15: Auswertung Schacht TE.

| Schacht TE                            |             |                 |              |                             |                  |                                 |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|--------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------|
| Schacht: TE                           | H = 345 cm  | X: 5183402      | Y: 633378    | Alt: 3042                   | Date:            | 07.05.2020                      |
| R. Prinz, A. Medvedova, L. Bührle     |             |                 |              |                             | Time:            | 12:15 MESZ                      |
| Abstich mit 1000 cm <sup>3</sup> Keil |             |                 |              |                             |                  |                                 |
| Höhe [cm]                             | Offset [cm] | Höhe korr. [cm] | Masse [g]    | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] | Schichthöhe [cm] | Wasserwert [kg/m <sup>2</sup> ] |
| 265                                   | 80          | 345             |              |                             |                  |                                 |
| 253                                   | 80          | 333             | 197          | 197                         | 12               | 24                              |
| 243                                   | 80          | 323             | 295          | 295                         | 10               | 30                              |
| 230                                   | 80          | 310             | 295          | 295                         | 13               | 38                              |
| 220                                   | 80          | 300             | 293          | 293                         | 10               | 29                              |
| 205                                   | 80          | 285             | 500          | 500                         | 15               | 75                              |
| 195                                   | 80          | 275             | 491          | 491                         | 10               | 49                              |
| 185                                   | 80          | 265             | 480          | 480                         | 10               | 48                              |
| 175                                   | 80          | 255             | 479          | 479                         | 10               | 48                              |
| 165                                   | 80          | 245             | 486          | 486                         | 10               | 49                              |
| 155                                   | 80          | 235             | 485          | 485                         | 10               | 49                              |
| 145                                   | 80          | 225             | 477          | 477                         | 10               | 48                              |
| 135                                   | 80          | 215             | 495          | 495                         | 10               | 50                              |
| 125                                   | 80          | 205             | 501          | 501                         | 10               | 50                              |
| 115                                   | 80          | 195             | 473          | 473                         | 10               | 47                              |
| 105                                   | 80          | 185             | 477          | 477                         | 10               | 48                              |
| 95                                    | 80          | 175             | 464          | 464                         | 10               | 46                              |
| 85                                    | 80          | 165             | 545          | 545                         | 10               | 55                              |
| 75                                    | 80          | 155             | 489          | 489                         | 10               | 49                              |
| 65                                    | 80          | 145             | 486          | 486                         | 10               | 49                              |
| 55                                    | 80          | 135             | 494          | 494                         | 10               | 49                              |
| 45                                    | 80          | 125             | 615          | 615                         | 10               | 62                              |
| 35                                    | 80          | 115             | 466          | 466                         | 10               | 47                              |
| 25                                    | 80          | 105             | 478          | 478                         | 10               | 48                              |
| 15                                    | 80          | 95              | 524          | 524                         | 10               | 52                              |
| 5                                     | 80          | 85              | 564          | 564                         | 10               | 56                              |
| 75                                    | 0           | 75              | 505          | 505                         | 10               | 51                              |
| 65                                    | 0           | 65              | 542          | 542                         | 10               | 54                              |
| 55                                    | 0           | 55              | 491          | 491                         | 10               | 49                              |
| 45                                    | 0           | 45              | 549          | 549                         | 10               | 55                              |
| 35                                    | 0           | 35              | 502          | 502                         | 10               | 50                              |
| 25                                    | 0           | 25              | 555          | 555                         | 10               | 56                              |
| 15                                    | 0           | 15              | 427          | 502                         | 10               | 50                              |
| 0                                     | 0           | 0               | 517          | 517                         | 15               | 78                              |
| <b>Gesamt:</b>                        |             |                 | <b>15637</b> | <b>474</b>                  | <b>345</b>       | <b>1635</b>                     |

## D.2.2 Feldkampagne 08.07.2020

### Ziel der Feldkampagne:

- Bohren von Ablationspegeln an der Zunge des HEF
- Ablesen von Ablationspegeln
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

Anfahrt nach Vent mit W. Gurgiser, der weiter zum Tisenjoch muss, um dort die Wetterstation zu reparieren, und weiter nach Rofen. Aufstieg zum Hochjochhospiz. Dort dem Wirt geholfen, die eben kaputt gegangene Antriebswelle des Kraftwerkes auszubauen und transportfertig zu machen. Die verlorene Zeit konnte ich durch Helikoptertransport auf den HEF wettmachen.

- 6 Pegel gebohrt, jeweils 4x2 m, unterste Stange rot markiert: 26, 22, 87, L7, 42, 41
- Alle aperaturen Pegel unterhalb 26 (nicht 28 und 71) abgelesen
- Totalisator Hospiz abgelesen

### Situation:

Hochsommerlich warm mit 0°C Grenze >4000 m, 0/8-2/8, schwach windig aus S. Deutlicher, katabatischer Wind am HEF.



Abbildung 22: In der Nähe von Pegel L7 am HEF. Foto: Rainer Prinz, 08.07.2020.

---

## D.2.3 Feldkampagne 30.07. – 01.08.2020

### Ziel der Feldkampagne:

- Regenmesserrunde
- Wartung Station im Hinteren Eis
- Wartung Station Hintereis
- Wartung/Ablesung Vent
- Bohren des LIDAR Pegels am HEF
- Ablesen von Ablationspegeln
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag, Christoph Klug – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

30.07.: Anfahrt nach Vent und Aufstieg zum Vernagtbach (RM VB). Dort kurzes mit Matthias Sibers (?), BAdW. Über RM Proviandepot zum Hochjochhospiz und Übergabe der LTER Infotafel über die Messungen am HEF. Via RM Hospiz zur Schönen Aussicht.

31.07.: Wartung Im Hinteren Eis.

- FI an der Bergstation des Hintereisliftes wieder eingeschaltet.
- LAN Kabel (je 3 m) der Webcams geschirmt.
- An HEF 1 die POE Splitter Platine getauscht. Beide Kameras funktionieren ab 10 Uhr.
- Erdung Container gemessen: 0.3 mV DC, 0.1 (m?)V AC
- Laserscan durchgeführt.
- Am Geonor Pluviometer neu mit ~5l Frostschutz + 0,4 l Wasser befüllt.
- Lüftung oberer T/RH Sensor getauscht. Allerdings bei Stromversorgung Lüfter Stecker und Buchse zerstört. Stromversorgung in Loggerbox unterbrochen um Kurzschluss zu vermeiden. Sensor misst, aber ist nicht ventiliert.

Aufgrund von unklarer Gewittersituation kurzerhand Helikopter angefordert und zur Station Hintereis übersetzt (15:00).

- Abmessungen AWS Mast für Neubau, AWS ok
- Wartung Pluviometer: Unterer Laderegler ausgefallen. Last an oberen Laderegler angeschlossen – Pluvio funktioniert.

01.08.:

Ablesung RM HEF

Verlegung AWS HEF etwa 20 m gletscheraufwärts. Neubohrung des SR 50 Distanzsensors (5 m im Eis, FEE 67 cm) und des LIDAR Pegels (5 m im Eis, FEE 108 cm)

Ablesung aller Pegel unterhalb L4.

---

## Ablesung RM Vent

### Situation:

Hochsommerlich warm mit 0°C Grenze ~4500 m. Vormittags 0/8-4/8, nachmittags Quellbewölkung und an allen Tagen kurze gewittrige Schauer. In Kammnähe Wind aus NW.



Abbildung 23: Neu installierter Ultraschallsensor und LIDAR Pegel. Foto: Rainer Prinz, 01.08.2020.



Abbildung 24: Blick von der Station Hintereis auf die Nordhänge des Rofenberges. Foto: Rainer Prinz, 31.07.2020.

## D.2.4 Feldkampagne 19.+20.08.2020: KWF

### Ziel der Feldkampagne:

- Bohren von Pegel L9 am Hintereisferner
- Ablesung der Pegel am Kesselwandferner
- Bohren von Pegeln am Kesselwandferner
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag, Christoph Klug – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

Anfahrt nach Rofen am 19.08. und Aufstieg zum Hochjochhospiz und weiter zum Hintereisferner. Dort Bohren von Pegel L9 und Ablesung von 41 und L8. Nächtigung am Hospiz. Am 20.08. Aufstieg zum Kesselwandferner und

- Ablesung der Pegel 4, 5, 6, 8, 9, 10, 16, 18 und 14. Pegel 3 nicht gefunden. Pegel 15 wird aufgelassen.
- Bohren der Pegel 5, 6, 8, 10, 14, 16 und 18

### Situation:

Hochsommerlich warm mit 0°C Grenze >4000 m, wolkenlos, schwach windig aus NW. Gletscher aper entlang des üblichen Weges zum Brandenburger Haus. Das weite Becken von Pegel 12 über 17 bis zum Fluchtkogel hin noch mit Altschnee bedeckt. Gipfelflanke des Fluchtkogels aper.



Abbildung 25: Die Zunge des KWF. Foto: Rainer Prinz, 20.08.2020.

---

## D.2.5 Feldkampagne 09.+10.09.2020

### Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Station im Hinteren Eis (Blitzschutz)
- Bohren von Ablationspegel am HEF
- Ablesen von Ablationspegeln
- Dreharbeiten zum GLISST Projekt (RAI Bozen)
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag, Christoph Klug – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

09.09.: Anfahrt via Bozen in Schnalstal. Anlässlich von Dreharbeiten zum GLISST Projekt Flug von Kurzras in Hintere Eis. Blitzschutztechniker Anfahrt über Schöne Aussicht. Tausch des Lüfters am oberen T/RH Fühler. Mit Abflug der Filmcrew und der Arbeiter Übersetzen zur Station Hintereis. In der Station stand von den heftigen Niederschlägen Ende August ca. 30 l Wasser am Boden.

10.09.: Ablesung RM HEF. Ablesung aller Pegel am HEF, die in schneefreien Bereichen zu finden waren. Neubohrung von Pegel 101, 107, 109. Abstieg über Teufelsegg nach Kurzras.

### Situation:

Spätsommerlich warm mit 0°C Grenze ~4000 m. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8, nur am 10. nachmittags Quellbewölkung und unergiebiges Regenschauer. In Kammnähe Wind aus SW.

### Besonderheit:

Mit dem Starkniederschlag Ende August ging eine Mure von orographisch rechts auf die Zunge des HEF nieder. Die Mure verschüttete das Zungenende mehrere Meter sodass auch L9 nicht mehr auffindbar ist. Der Bereich unterhalb Pegel 41 bis zum Gletschertor ist meterhoch mit Schutt und Schlamm bedeckt. Zwei Bergsteiger berichteten vom mühsamen Waten durch knietiefen Schlamm über mehrere hundert Metern. Das Erreichen des HEF vom Hochjochhospiz ist dadurch erheblich beeinträchtigt.



*Abbildung 26: Der Hang zur Langtauferserspitze zeigt zunehmend Felsinseln. Der Gletscher wird hier bald verschwinden. Foto: Rainer Prinz, 10.09.2020.*



*Abbildung 27: Gegen Ende der Ablationssaison liegen Massenrücklagen nur noch in den höchsten Gletscherbecken. Foto: Rainer Prinz, 10.09.2020.*





Abbildung 28: Blick auf den Hintereisferner am 03.09.2020. Die frischen Ablagerungen der Mure von Ende August im Zungenbereich sind deutlich erkennbar. Die Rofenache ist durch Sediment braun verfärbt. Foto, Rainer Prinz.

## D.2.6 Feldkampagne 01.10.2020: HEF Abschluss

### Ziel der Feldkampagne:

- Neuerrichtung Wetterstation Station Hintereis, Teil 1
- Wartung Station Hintereis
- Abschlussbegehung
- Ablesung der Totalisatoren LB, PD und Vent
- Befliegung der Mure am HEF mit dem RiCopter
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Lindsey Nicholson, Annelies Voordendag, Christoph Klug, Philipp Vettori – ACINN
- Magnus Bremer und Andreas Cziferszky – Institut für Geographie, Universität Innsbruck

### Ausgeführte Arbeiten:

An und Abtransport per Hubschrauber.

- Wetterstation (RP, PV): Abbau der alten Wetterstation. Übersiedelung etwa 15 m entfernt zu Pluviometerstandort. Wiederverwendung des alten Mastes. Neue Sensoren. Verbesserte Loggersteuerung. Leider war die Zeit zu kurz und die Station konnte noch nicht in Betrieb genommen werden.
- Station Hintereis (RP): Neue Bettwäsche, neuer Feuerlöscher. Abdichtungen der Lüftungsbleche für die Heizung verbessert. Müll verräumt.
- Abschlussbegehung (LN, AV, CK mit Schi): Ablesung der meisten Pegel am HEF, Schneehöhensondierungen, Schacht bei SSJ, P110.
- Befliegung (MB, AC): erfolgreich
- Zusätzlich wurde bei dem Helieinsatz noch ein Team von U. Starsser von der Schönen Aussicht zum Proviantdepot und retour geflogen (Ablesung RM PD und LB) sowie das Team des KWF geflogen.

**Situation:**

Spätsommerlich warm mit 0°C Grenze ~3000 m. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8. In Kammnähe Wind aus NW.



Abbildung 29: Altschneeschant bei P110 (SSJ). Foto: Lindsey Nicholson 01.10.2020.

Tabelle 16: Auswertung Schacht P110 = SSJ#

| Schacht 110 = SSJ   |                              |             |                             |                      |                          |                          |
|---------------------|------------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Schacht: SSJ        | H = cm                       | X:          | Y:                          | Alt:                 | Date:                    | 01.10.2020               |
| Rainer Prinz        |                              | 632782      | 5183072                     | 3231                 | Time:                    | 10:00 MESZ               |
| Durchmesser Rohr cm | 5.64                         |             |                             |                      |                          |                          |
| Abstich             | Füllhöhe [cm]                | Masse [g]   | Dichte [kg/m <sup>3</sup> ] | Wasserwert [mm w.e.] |                          |                          |
| 1                   | 21.0                         | 140         | 267                         | 56                   | 243-222                  | Neuschnee September 2020 |
| 2                   | 21.0                         | 280         | 534                         | 112                  | 211-190                  | Altschnee                |
| 3                   | 21.0                         | 285         | 543                         | 114                  | 190-169                  |                          |
| 4                   | 21.0                         | 295         | 562                         | 118                  | 169-148                  |                          |
|                     | 32.0                         |             | 267                         | 85                   | Neuschnee September 2020 |                          |
|                     | 157.0                        |             | 546                         | 858                  | Altschnee HHJ 2020       |                          |
| <b>Gesamt:</b>      | <b>189.0</b>                 | <b>2357</b> | <b>499</b>                  | <b>943</b>           |                          |                          |
| Stratigraphie       |                              |             |                             |                      |                          |                          |
| 243-211             | (Neu)schnee 21.-30.09.2020   |             |                             |                      |                          |                          |
| 211-209             | dunkler Horizont             |             |                             |                      |                          |                          |
| 209-95              | Altschnee HHJ 2020           |             |                             |                      |                          |                          |
| 95                  | Eislinse                     |             |                             |                      |                          |                          |
| 94-54               | Altschnee HHJ 2020           |             |                             |                      |                          |                          |
| 54                  | dunkler Horizont Sommer 2019 |             |                             |                      |                          |                          |
| 0                   | Eis 2018                     |             |                             |                      |                          |                          |

Interpretation aus der Gradtagmethode: Am Schacht P110 = SSJ wurden bei der Winterbilanz am 07.05. 481 cm Schnee gemessen. Am 01.10. wurde der Schacht bis zu einem nicht durchdringbaren Horizont gegraben. Dieser wird als die Eisoberfläche 2018 interpretiert, als der Gletscher an dieser Stelle schneefrei war. Etwa 54 cm darüber liegt ein dunkler Horizont mit einer dünnen Schicht Tiefenreif. Dieser Horizont wird als die Oberfläche 2019 interpretiert. Schneehöhe 243 cm, davon 32 cm Neuschnee, also 157 cm Altschnee. Die von Vent extrapolierten Gradtagsummen (-0,60°C/100 Hm) an der Höhe des Schachtes betragen 278°C (01.05.-30.09.) bzw. 271°C (01.06.-30.09.). Umgerechnet mit einem vergleichsweise hohen Gradtagfaktor für Schnee von 5.40 mm/°C/Tag (Lang et al. 1977, Braithwaite 2008) ergeben sich somit etwa 1800 kg/m<sup>2</sup> Ablation an der Position P110, oder eine Höhenänderung von etwa 330 cm. Somit müssten noch etwa 150 cm des Winterschnees übrig sein, was mit der stratigraphischen Interpretation übereinstimmt.

## D.2.7 Feldkampagne 01.10.2020: KWF Abschluss

### Ziel der Feldkampagne:

- Abschlussbegehung KWF
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Alexander Kehl, Andrea Meyer, Colin Ronald – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

An und Abtransport per Hubschrauber (zusammen mit HEF Team).

Ablesung aller auffindbaren Pegel am KWF, Schneehöhensondierungen, Schacht bei K20.

### Situation:

Spätsommerlich warm mit 0°C Grenze ~3000 m. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8. In Kammnähe Wind aus NW.

Tabelle 17: Auswertung Schacht K20.

| Schacht K20                  |                             |             |             |                        |                |                          |  |
|------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|------------------------|----------------|--------------------------|--|
| Schacht: K12                 | H = 182 cm                  | X:          | Y:          | Alt:                   | Date:          | 01.10.2020               |  |
| A. Kehl, A. Mayer, C. Ronald |                             | 635903      | 5190153     | 3277                   | Time:          | 10:00 MESZ               |  |
| Durchmesser Rohr cm          | 5.64                        |             |             |                        |                |                          |  |
| Abstich                      | Füllhöhe [cm]               | Masse [g]   | Tara [g]    | korrigierte Masse [kg] | Dichte [kg/m³] | Wasserwert [mm w.e.]     |  |
| 1                            | 21.0                        | 660         | 540         | 0.120                  | 229            | Neuschnee September 2020 |  |
| 2                            | 21.0                        | 680         | 540         | 0.140                  | 267            | Schnee                   |  |
| 3                            | 4.5                         | 580         | 540         | 0.040                  | 356            | September                |  |
| 4                            | 21.5                        | 840         | 540         | 0.300                  | 559            | Altschnee                |  |
| 5                            | 21.5                        | 820         | 540         | 0.280                  | 521            | 2019/2020                |  |
| 6                            | 21.2                        | 870         | 540         | 0.330                  | 623            |                          |  |
| 7                            | 21.2                        | 850         | 540         | 0.310                  | 585            |                          |  |
| 8                            | 21.2                        | 840         | 540         | 0.300                  | 566            | Firn                     |  |
| 9                            | 21.5                        | 860         | 540         | 0.320                  | 596            |                          |  |
| 10                           | 7.0                         | 660         | 540         | 0.120                  | 686            |                          |  |
| <b>Gesamt:</b>               | <b>181.6</b>                | <b>7660</b> | <b>5400</b> | <b>2.260</b>           | <b>498</b>     | <b>905</b>               |  |
|                              | mittlere Neuschneedichte    |             |             | 284                    |                |                          |  |
|                              | mittlere Altschneedichte    |             |             | 540                    |                |                          |  |
| Stratigraphie                |                             |             |             |                        |                |                          |  |
| 182-135                      | Neuschnee 20.09.-30.09.2020 |             |             |                        |                |                          |  |
| 135-81                       | Altschnee                   |             |             |                        |                |                          |  |
| 81                           | Oberfläche 2019             |             |             |                        |                |                          |  |
| 81-79                        | Eislamelle                  |             |             |                        |                |                          |  |
| 79-0                         | Firn                        |             |             |                        |                |                          |  |
| 0                            | Eis                         |             |             |                        |                |                          |  |



Abbildung 30, links: Arbeiten in Schacht K20; rechts: Bei Pegel K16. Fotos: Alexander Kehl, 01.10.2020.

## D.3 Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental

### D.3.1 Die Regenmesser im Rofental

Das Rofental ist seit vielen Jahrzehnten Gegenstand von Niederschlagsmessungen mit einem dichten Messnetz. Seit 1905 werden monatliche Niederschlagssummen in Vent (1.890 m a.s.l.) aufgezeichnet. 6 Totalisatoren wurden bis Ende des Hydrologischen Jahres 2020 jeweils am 1.4., 1.6., 1.8. und 1.10 abgelesen und mit den Niederschlagsdaten von Vent auf monatliche Niederschlagssummen umgerechnet. Die Totalisatoren Hochjochhospitz, Proviantdepot, Rofenberg und Station Hintereis (HEF) wurden 1952 aufgebaut, die Totalisatoren Vernagtbrücke und Latschbloder im Jahr 1965.

Mittlerweile verbieten Bestimmungen der Arbeitssicherheit der Universität Innsbruck das Besteigen der Totalisatoren im derzeitigen Zustand. Eine bauliche Abänderung der Messeinrichtung entsprechend der Arbeitssicherheitsbestimmungen und der Messprinzipien ist nicht finanzierbar. Deshalb wird das Messnetz der Totalisatoren mit Ende des HHJ 2019/20 aufgelassen. Mittlerweile stehen jedoch an fünf der sieben Totalisatorstandorte elektronische Niederschlagswaagen, welche die Niederschlagsmessung im Rofental fortführen. Lediglich die Standorte Rofenberg und Hochjochhospitz sind zumindest kurzfristig mit keiner Niederschlagsmessung ausgestattet. Im November 2020 wurde am ACINN eine Masterarbeit zum Niederschlag im Rofental übernommen, die unter anderem auch die die Messwerte zwischen den Totalisatoren und den Niederschlagswaagen homogenisieren soll.

Die Wartung der AWS in Vent und die monatliche Ablesung des RM Vent wurde in den Wintermonaten von Philipp Vettori oder Rainer Prinz durchgeführt. Die Ablesung der übrigen Totalisatoren wurde meist mit Feldarbeiten am HEF oder KWF kombiniert (Tabelle 14).

Tabelle 18: Ablesetabelle der RM im Rofental 2019/20.

| Datum             | Ausgeführte Arbeit     | Personen                         | VB | PD | Hospiz | HEF | RB | LB | Vent |
|-------------------|------------------------|----------------------------------|----|----|--------|-----|----|----|------|
| 03.10.2019        | Wartung/Ablesung Vent  | R. Prinz, B. Goger               | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 11.10.2019        | RM Runde und Befüllung | R. Prinz, C. Klug                | +  | +  | +      | +   | +  | +  | -    |
| 03.12.2019        | Wartung/Ablesung Vent  | R. Prinz                         | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 10.01.2020        | Wartung/Ablesung Vent  | R. Prinz                         | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 31.01.2020        | Wartung/Ablesung Vent  | P. Vettori                       | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 07.05.2020        | Wartung/Ablesung Vent  | R. Prinz                         | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 15.06.2020        | Wartung/Ablesung Vent  | P. Vettori                       | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 01.07.2020        | Wartung/Ablesung Vent  | P. Vettori                       | -  | -  | -      | -   | -  | -  | +    |
| 30.07.-01.08.2020 | RM Runde               | R. Prinz, C. Klug, A. Voordendag | +  | +  | +      | +   | -  | -  | +    |
| 10.08.2020        | LB                     | R. + D. Prinz                    | -  | -  | -      | -   | -  | +  | -    |
| 02.+03.09.2020    | RM Runde               | R. Prinz                         | +  | +  | +      | -   | -  | -  | +    |
| 01.10.2020        | Abschlussbegehung      | R. Prinz et al.                  | -  | +  | -      | -   | -  | +  | +    |

## D.3.2 Feldkampagne 03.12.2019: Station Hintereis

### Ziel der Feldkampagne:

- Demontage Pluviometer Station Hintereis
- Wartung Wetterstation Tisenjoch
- Wartung Vent
- Regenmesserablesung Vent
- Fotodokumentation

### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Philipp Vettori, Wolfgang Gurgiser, Conni Klein – ACINN

### Ausgeführte Arbeiten:

An und Abtransport per Hubschrauber.

- StHE (RP,PV): Demontage des kaputten Pluviometers, verbesserte Laderegung, neuer T/RH Sensor
- Tisenjoch (WG, CK): Tausch Radiometer, allgemeine Wartung
- Check Vent, Ablesung RM

### Situation:

Warm mit  $-5^{\circ}\text{C}$  an der Station. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8. Schwacher Wind aus SW.



*Abbildung 31: Der Pluviometer ist defekt und muss eingeschickt werden.  
Foto: Rainer Prinz, 03.12.2019.*

### D.3.3 Feldkampagne 02.01.2020: Im Hinteren Eis

#### Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Metek Regenradar
- Wartung Fotowebcam 2
- Fotodokumentation

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Colin Ronald – ACINN
- Tobias Sauter – FAU Erlangen-Nürnberg

#### Ausgeführte Arbeiten:

An- und Abmarsch über Kurzras und Schigebiet Schnalstaler Gletscher.

- Metek Radar wurde nach Wartung wieder installiert
- Fotowebcam 2 konnte wieder nicht repariert werden. Der Schaden sitzt wohl tief.

#### Situation:

Warm mit  $\sim -5^{\circ}\text{C}$  im Hinteren Eis. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8. Auflebender Wind aus SW.



Abbildung 32: Angenehme Verhältnisse in Hinteren Eis. Foto: Rainer Prinz 02.01.2020.



### D.3.4 Feldkampagne 10.01.2020

#### Ziel der Feldkampagne:

- Aufstellen einer Wetterstation am Hintereisferner für die SCHISM Winterkampagne
- Schneeprofil
- Ablesung/Wartung Vent
- Fotodokumentation

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Tobias Sauter – FAU Erlangen-Nürnberg

#### Ausgeführte Arbeiten:

An- und Abflug per Helikopter via Rofen.


- Aufstellung der AWS am Gletscher problemlos
- Schneeprofil zur Bestimmung der Dichte und Temperatur.

#### Situation:

Warm mit  $-5^{\circ}\text{C}$  am Gletscher. Bewölkung durchgehend 0/8-2/8. Wind aus SW.



Abbildung 33: Die Wetterstation am Hintereisferner: Foto: Tobi Sauter, 10.01.2020.

|  |                                     |   |
|--|-------------------------------------|---|
| Location: AWS HEF                                    | Altitude: 2800 m                    | Date / Time: 2020-01-10 14:30 +01:00  |
| Observer: Rainer Prinz, Tobias Sauter                | Exposition: n/a                     | Air temp.: -5.5 °C  |
| Profilenr:   | Coordinates: 46.79815 / 10.76988    | Cloudiness: clear (0/8)   |
| Snow height: 164 cm (SWE: 615.22 kg/m <sup>2</sup> ) | Avg. density: 375 kg/m <sup>3</sup> | Wind: SW / 13.5 km/h  |
| Hasty Pit: No  |                                     | Avg. ram resistance:  |
| Remarks:   |                                     | Roughness:  |

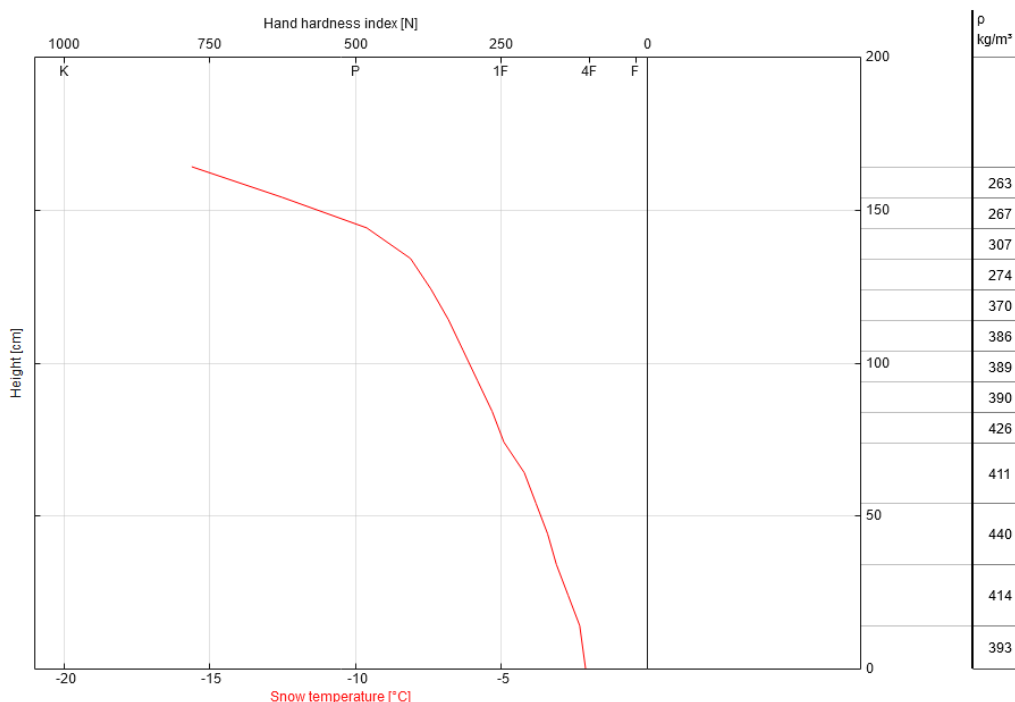


Abbildung 34: Temperatur- und Dichtewerte vom Schneeprofil am 10.01.2020.

### D.3.5 Feldkampagne 19.-22.02.2020

#### Ziel der Feldkampagne:

- Wartung Im Hinteren Eis: Metek, Fotowebcam, Fenster Container, Geonor
- Station Hintereis: Montage des reparierten Pluviometers
- Abbau Wetterstation Hintereisferner
- Ablesung Totalisator HEF
- Fotodokumentation

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag – ACINN
- Tobias Sauter – FAU Erlangen-Nürnberg
- Elias Holzknecht - privat

**Ausgeführte Arbeiten:**

19.02.: Von Kurzras in Hintere Eis

- Metek Niederschlagsradar funktioniert nicht mehr – muss abgebaut werden.
- Niederschlagswaage Geonor ok, Container ok
- Fotowebcam 2 funktioniert wieder

20.02.: Nach Übernachtung in der schönen Aussicht Flug mit Heli zur Station Hintereis

- Neuen Pluviometer installiert
- Flow Capt sensor installiert
- Neues Loggerprogramm
- Bug in der Luftdruckmessung korrigiert

21.02.:

- RM Hef: gefroren
- Abbau AWS Hintereisferner
- Geplanter Flug mit Helikopter wegen Wind nicht möglich; Rückmarsch zur Schönen Aussicht, Nächtigung

22.02.

Wetterstation konnte vom Hintereisferner am Vormittag ausgeflogen werden. Abfahrt nach Kurzras.

**Situation:**

19.02.: Kalt mit  $-12^{\circ}\text{C}$  im Hinteren Eis. Stark bewölkt, immer wieder im Nebel, kraftiger Wind aus NO.

20.02.: Erwärmung auf etwa  $-5^{\circ}\text{C}$ , Bewölkung um Mittag, vormittags kräftiger böiger Wind aus NO.

21.02.:  $\sim -10^{\circ}\text{C}$  am Gletscher, geringe Bewölkung, in Kammnähe stürmischer Wind.



Abbildung 35: Die Wetterstation hat die Verhältnisse seit Anfang Jänner gut überstanden. Foto: Rainer Prinz, 21.02.2020.



Abbildung 36: Unwirtliche Bedingungen beim Rückmarsch. Foto: Rainer Prinz, 21.02.2020.

### D.3.6 Feldkampagne 06.03.2020

#### Ziel der Feldkampagne:

- Ausfall der Systeme am 24.02. – Überprüfung der Datenverbindung
- Fotodokumentation

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Annelies Voordendag – ACINN

#### Ausgeführte Arbeiten:

- Am 24.02. um 02:30 ging die Datenverbindung in Hintereis verloren. Strom ist vorhanden, Daten werden gemessen. Datenverbindung konnte nicht wieder hergestellt werden.
- Eine Analyse ergab, dass die Antenne zur Datenübertragung ins Zivilschutznetz des Landes Südtirol defekt war. Aufgrund der COVID-19 Pandemie wurde die Antenne erst am 22.05. durch Techniker der RAS getauscht.

#### Situation:

Kalt mit  $-15^{\circ}\text{C}$  im Hinteren Eis, leichter Wind aus SW.

---

### D.3.7 Feldkampagne 05.+06.07.2020: Im Hinteren Eis

**Ziel der Feldkampagne:**

- Reparatur der Fotowebcam Hintereisferner 1
- Verbesserung des Überspannungsschutzes der Fotowebcams
- Abbau des Metek Mikro-Regenradars
- Fotodokumentation

**Teilnehmer:**

- Rainer Prinz – ACINN

**Ausgeführte Arbeiten:**

Anfahrt nach Kurzras am 05.07. und Aufstieg zur Schönen Aussicht; Nächtigung. Am 06.07. Aufstieg ins Hintere Eis gegen 04:45 um ein Einsinken in der gefrorenen Schneedecke zu Verhindern und um die Arbeiten zeitgerecht zum avisierten Helikoptertransport zu erledigen.

- POE Injektoren der Kameras mit Schuko Überspannungsschutzadapter ergänzt. LAN Kabel vom Mast zum Container mit Überspannungsschutz abgesichert. Tausch des Überspannungsschutzes der Webcams. Montage auf neuer Schiene in Container neben Computer. Schiene auf mit Erdung Container verbunden.
- Untere Platine und Kamerarechner bei Fotowebcam 1 getauscht.
- Mikro-Regenradars abgebaut inkl. Antenne und Kabel.

Abtransport per Helikopter gegen 11:30 nach Kurzras.

**Situation:**

Hochsommerlich warm mit 0°C Grenze >4000 m, wolkenlos, schwach windig aus N. Im Tagesverlauf aufkommende Bewölkung mit aufziehender schwacher Kaltfront aus NW.



Abbildung 37: Morgenstimmung Im Hinteren Eis. Links der Mast mit der Niederschlagswaage, rechts der Mast mit den meteorologischen Instrumenten und dem Metek Regenreader, das im Zuge dieser Feldarbeit abgebaut wurde. Foto: Rainer Prinz, 06.07.2020.

### D.3.8 Feldkampagne 09.+10.08.2020: Im Hinteren Eis

#### Ziel der Feldkampagne:

- Wiederherstellung Stromversorgung Im Hinteren Eis
- Ablesung RM Latschbloder
- Fotodokumentation

#### Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Daniela Prinz - privat

#### Ausgeführte Arbeiten:

Anfahrt nach Kurzras am 09.08. und Aufstieg zur Schönen Aussicht; Nächtigung. Am 10.08. Aufstieg über Latschbloder (Ablesung) ins Hintere Eis.

- Ablesung RM Latschbloder
- FI im Container wieder eingeschaltet. Alle Systeme überprüft.

#### Situation:

Hochsommerlich warm mit 0°C Grenze >4000 m, wolkenlos, schwach windig aus N.