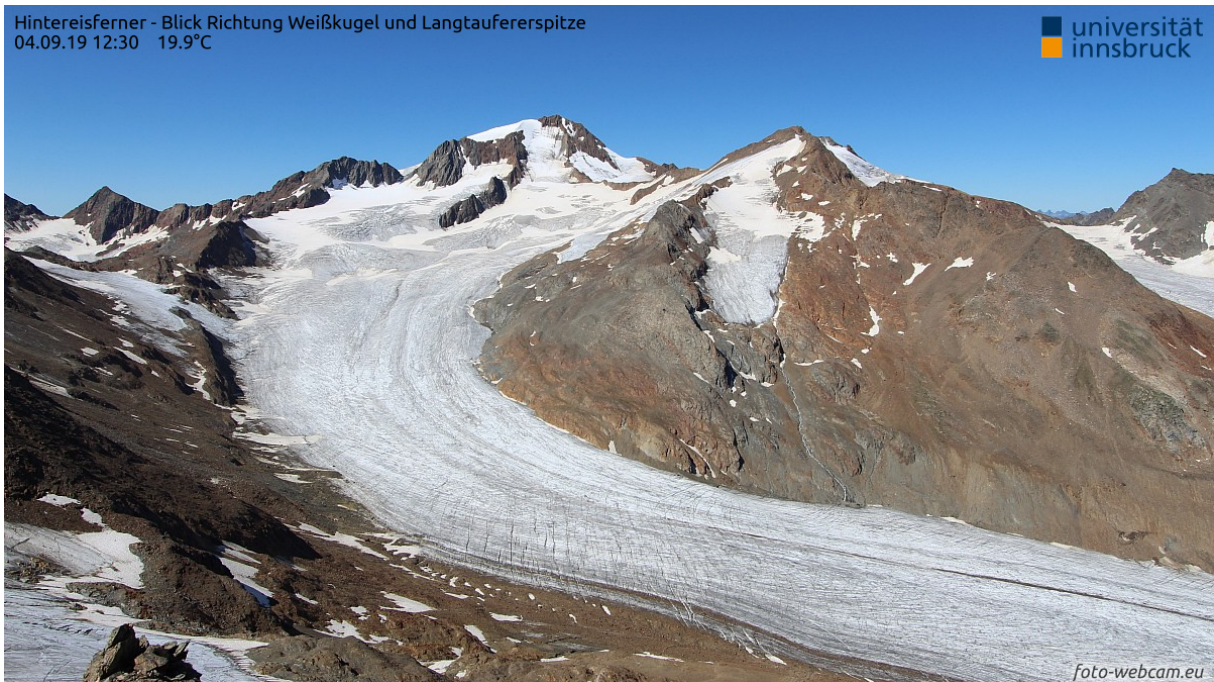

HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2018/19
- inklusive der Auswertungen der Niederschlagsmessung im Rofental



Der Hintereisferner zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung am 04.09.2019. Foto: automatische Kamera im Hinteren Eis

HINTEREIS- und KESSELWANDFERNER MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2018/19

Innsbruck, im November 2019

im Auftrag von und gefördert durch:
Hydrographischer Dienst der Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung
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
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 2018/19

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-7
C.2.3	Geodätische Massenbilanz.....	C-9
C.3	Atmosphärische Deposition Hintereisferner.....	C-13
C.4	Massenbilanz Kesselwandferner	C-14
C.5	Niederschlagsmessungen im Rofental.....	C-19
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-3
D.2.1	Feldkampagne 01.+ 02.05.2019 – Winterbilanz am HEF.....	D-3
D.2.2	Feldkampagne 22.-25.07.2019: Gustavus Adolphus College	D-7
D.2.3	Feldkampagne 27.+28.08.2019.....	D-10
D.2.4	Feldkampagne 03.+04.09.2019: KWF	D-11
D.2.5	Feldkampagne 24.+27.09.2019: Praktikum ACINN und KWF Abschluss.....	D-13
D.2.6	Feldkampagne 11+12.10.2019: HEF Abschluss.....	D-14
D.3	Dokumentation sonstiger Feldarbeiten in Vent und im Rofental	D-16
D.3.1	Die Regenmesser im Rofental.....	D-16
D.3.2	Feldkampagne 30.-31.03.2019	D-17

D.3.3	Feldkampagne 01.04.2019	D-18
D.3.4	Feldkampagne 06.+07.06.2019.....	D-20
D.3.5	Feldkampagne 08.06.2019	D-21
D.3.6	Feldkampagne 04.07.2019	D-22
D.3.7	Feldkampagne 05.+06.08.2019.....	D-24

A. ZUSAMMENFASSUNG

Für den **Hintereisferner** brachte das Haushaltsjahr 2018/19 mit **-680 mm w.e.**¹ (Tabelle 1) eine moderat negative Massenbilanz. Die Winterbilanz mit 1650 mm w.e. ist nach 2012/13 die zweit höchste je gemessene Winterbilanz. Die ELA liegt auf 3213 m. Nach den zum Teil extrem negativen Haushaltsjahren 2014/15-2017/18 liegt die Massenbilanz trotz des heißesten Sommers der Messgeschichte in Vent im Bereich des langjährigen Mittelwertes (-650 mm w.e.). Ausschlaggebend dafür war der sehr schneereiche Winter (1650 mm w.e.), besonders aber der schneereiche Mai, der dafür sorgte, dass die Hitzewellen Ende Juni und Mitte Juli nur wenig Eisablation verursachten, weil der Hintereisferner noch bis weit in den Juli hinein schneebedeckt war und die Eisablation auf die untersten Höhenstufen begrenzt war (siehe Kapitel C.2.2. und Abbildungen darin).

Trotz der moderat negativen Massenbilanz schlägt sich der heiße Sommer in anderen glaziologischen Kennzahlen nieder. So sind im Vergleich zur Massenbilanz die AAR um ca. ein Drittel zu niedrig und die ELA um ca. 120 m zu hoch.

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

Tabelle 1: Kennzahlen des Bilanzjahres 2018/19 für den Hintereisferner².

	Winter			Sommer		gesamtes Jahr	
	Fläche	B_w	b_w	B_s	b_s	B	b
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]
	6224	10271176	1650	-14502199	-2330	-4231022	-680
S_C [10³ m²]	2227		B_C [m³ w.e.]	510329		b_C [mm w.e.]	229
S_A [10³ m²]	3997		B_A [m³ w.e.]	-4741351		b_A [mm w.e.]	-1186
ELA	3213	m a.s.l.	S_C/S_A	0.557		AAR	0.358

¹ Eine Liste der Akronyme und Symbole findet sich in Kapitel C.7.

² 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 2018/19 mit **-337 mm w.e.** ein schwach negatives Bilanzjahr (Abbildung 1 und Tabelle 2). Die ELA liegt bei 3222 m a.s.l.

Tabelle 2: Kennzahlen des Bilanzjahres 2018/19 für den Kesselwandferner

		gesamtes Jahr				
		Fläche	B	b		
		[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]		
		3549	-1194455	-337		
S_C [10³ m²]	1356		B_C [m³ w.e.]	359567	b_C [mm w.e.]	265
S_A [10³ m²]	2193		B_A [m³ w.e.]	-1554022	b_A [mm w.e.]	-709
ELA	3222	m.a.s.l.	S_C/S_A	0.618	AAR	0.382

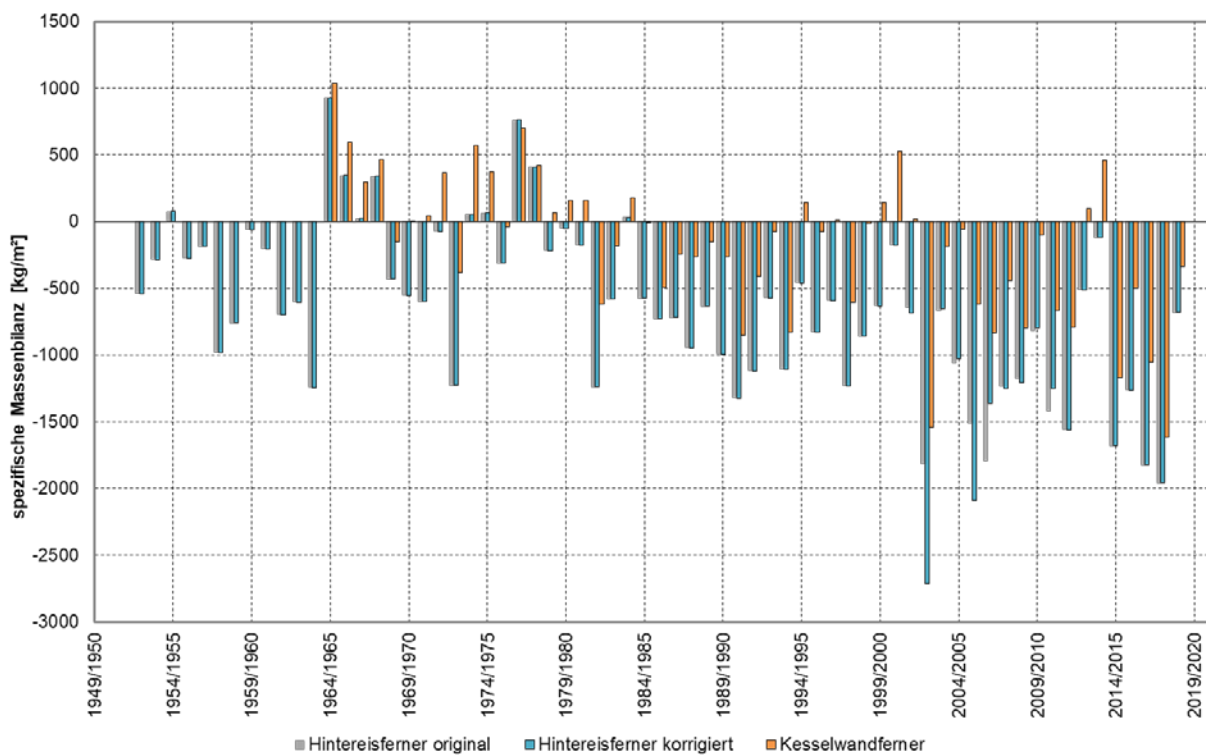


Abbildung 1: Die Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandfernens (Quelle: ACINN). Die Bilanzjahre 2001 – 2011 wurden für den HEF nach Klug et al. (2018) korrigiert.

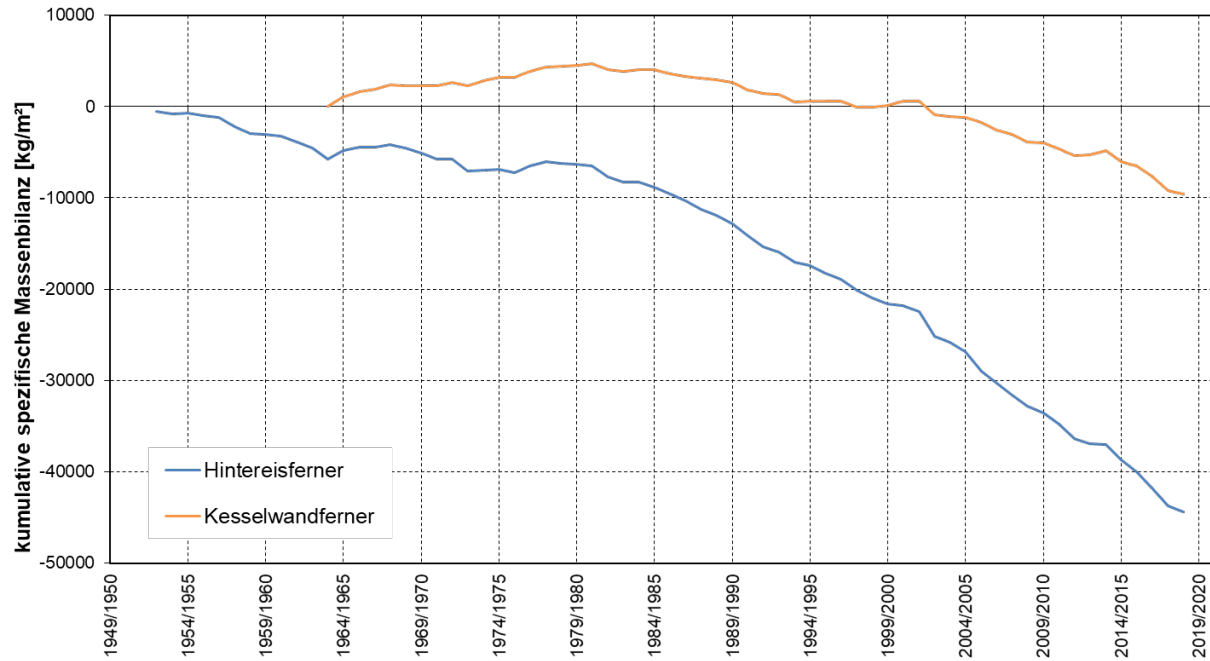


Abbildung 2: Die kumulativen Massenbilanzreihen des Hintereis- und Kesselwandferners (Quelle: ACINN). Die Massenbilanz am HEF wurde 2001-2011 nach Klug et al. (2018) korrigiert.

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. 6,3 km Länge von der Weißkugel (3739 m) in nord-östliche Richtung ins Rofental und endet auf etwa 2460 m (2018). 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, jeweils vom 01.10. bis zum 30.09. des Folgejahres (mittlerer Breiten der Nordhemisphäre). Das natürliche Massenhaushaltsjahr ist als die Zeitspanne von einem Massenminimum des Gletschers zum nächsten im darauf folgenden 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 der 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 (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 $b = 0$.

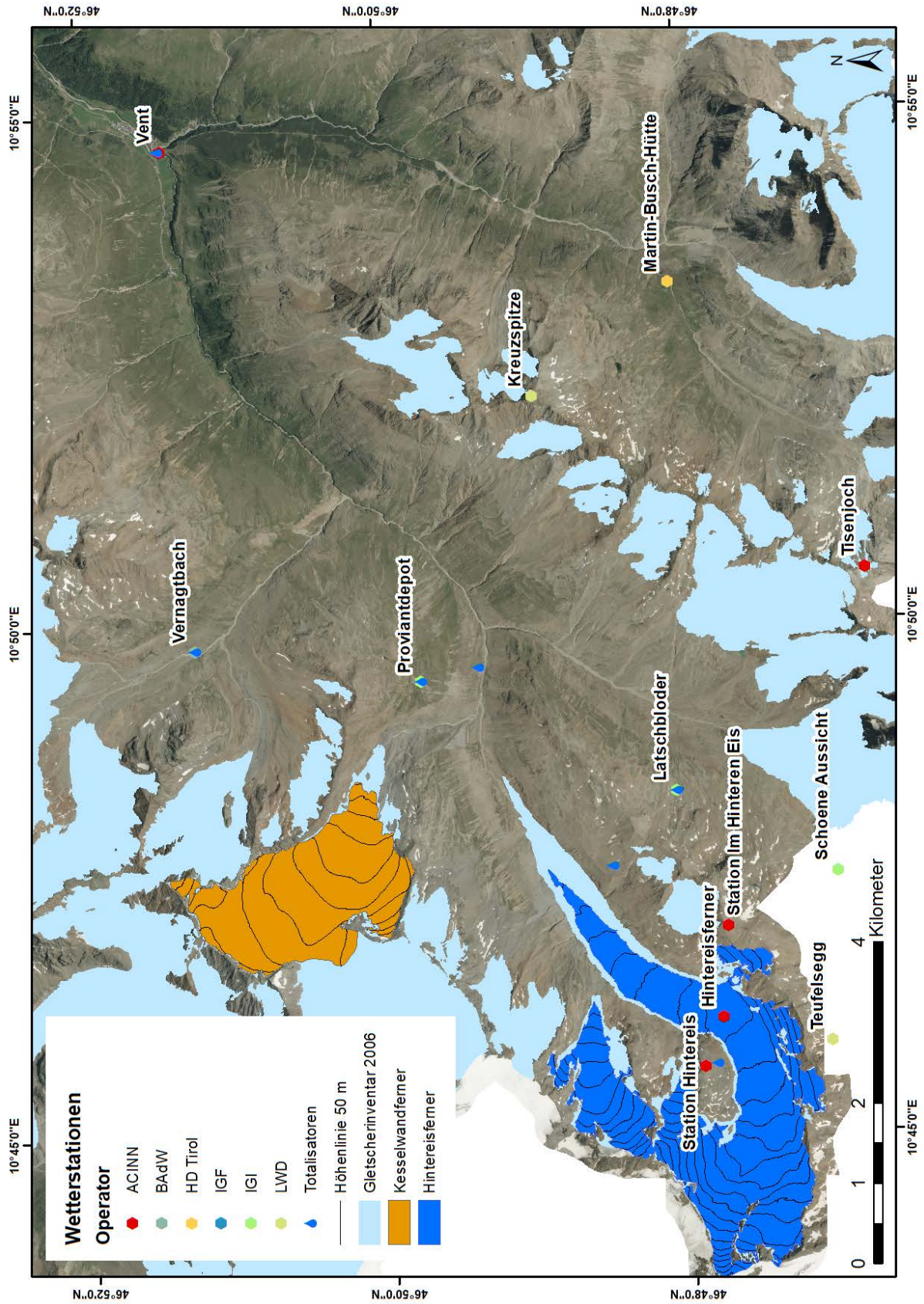


Abbildung 3: Übersichtskarte des Rofentals mit der Lage der Gletscher, Totalisatoren und automatischen Wetterstationen. Der Laserscan befindet sich bei der Station Im Hinteren Eis.

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 gemessenen (glaziologischen Bilanz) 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 2018/19 wurde der Eisrand von HEF und KWF auf Basis des aktualisierten Laserscan Geländemodelles des Landes Tirol, aufgenommen 2018, neu kartiert und somit die Flächenhöhenverteilung (Abbildung 4) und die Gletscherfläche (Abbildung 5 und Abbildung 6) neu berechnet. Die im Sommer 2018 erfolgte teilweise Aktualisierung des Eisrandes am HEF im unteren Bereich der Gletscherzunge anhand des terrestrischen Laserscanners des ACINN ist somit überarbeitet.

Die Gletscherfläche des HEF beträgt 2018 6,224 km² – um 0,435 km² (oder 6%) weniger als im Jahr 2013; jene des KWF misst 3,589 km² – um 0,019 km² (oder 0,5%) weniger als 2013. Während sich die Gletscherfläche am HEF besonders entlang der tief gelegenen Zungenbereiche stark ändert, schrumpft der KWF nur geringfügig entlang der bereits an der Felsschwelle seines Firnbeckens liegenden Zunge und den Felsinseln am Hang unterhalb des Fluchtkogels.

Das Messnetz am HEF (Abbildung 5) 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 2019 viele Pegel nicht mehr aufgesucht werden oder wurden regelrecht von den Spalten "verschluckt". Ebenfalls aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Schneereste in den obersten Becken im Herbst nicht erreicht werden und somit kein Dichteprofil gemessen werden. Die positiven Flächen wurden von Fotografien ermittelt und die Wasserwerte in Anlehnung an die Messungen vom KWF übertragen.

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 04.09.2019, 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 ¹	Im Hintereis	Tisenjoch
Lufttemperatur	+	+	+	+	+
Feuchte	+	+	+	+	+
Windgeschwindigkeit	+	+	+	+	+
Windrichtung	+	+	+	+	+
Strahlung (4 Komponenten)	-	+	+	+	+
Luftdruck	+	+	+	+	+
Schneehöhe	+	+	+	+	+
Niederschlag	+	+	-	+	-
3D Anemometer	-	-	-	+	-
Schneedrift	-	+ ²	-	+ ²	-
Niederschlagsradar	-	-	-	+ ²	-

¹ nur während der Ablationsperiode; 2019 nur Schneehöhe
² zur Zeit nur Fallstudien; nicht im Regelbetrieb

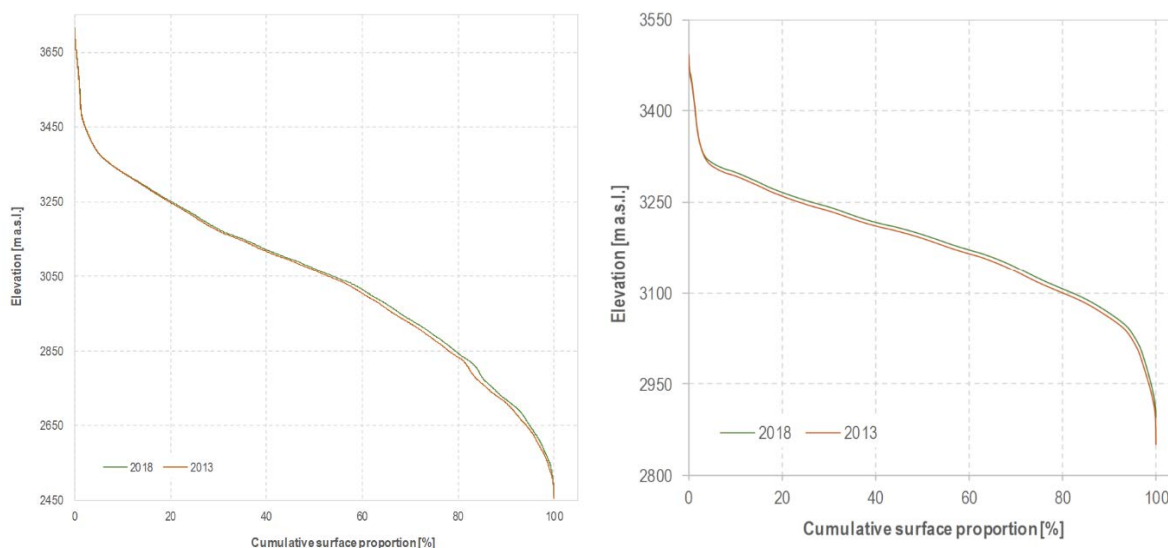


Abbildung 4: Die Flächen-Höhenverteilung des HEF (links) und des KWF (rechts). Man erkennt, dass durch den Gletscherschwund und der damit verbundenen Höhenabnahme der Oberfläche am HEF besonders die Flächenanteile der Bereiche unterhalb von ca. 3050 m geringer werden, während am KWF dieses Signal gleichmäßig über die Höhenstufen verteilt ist. (Analyse C. Klug)

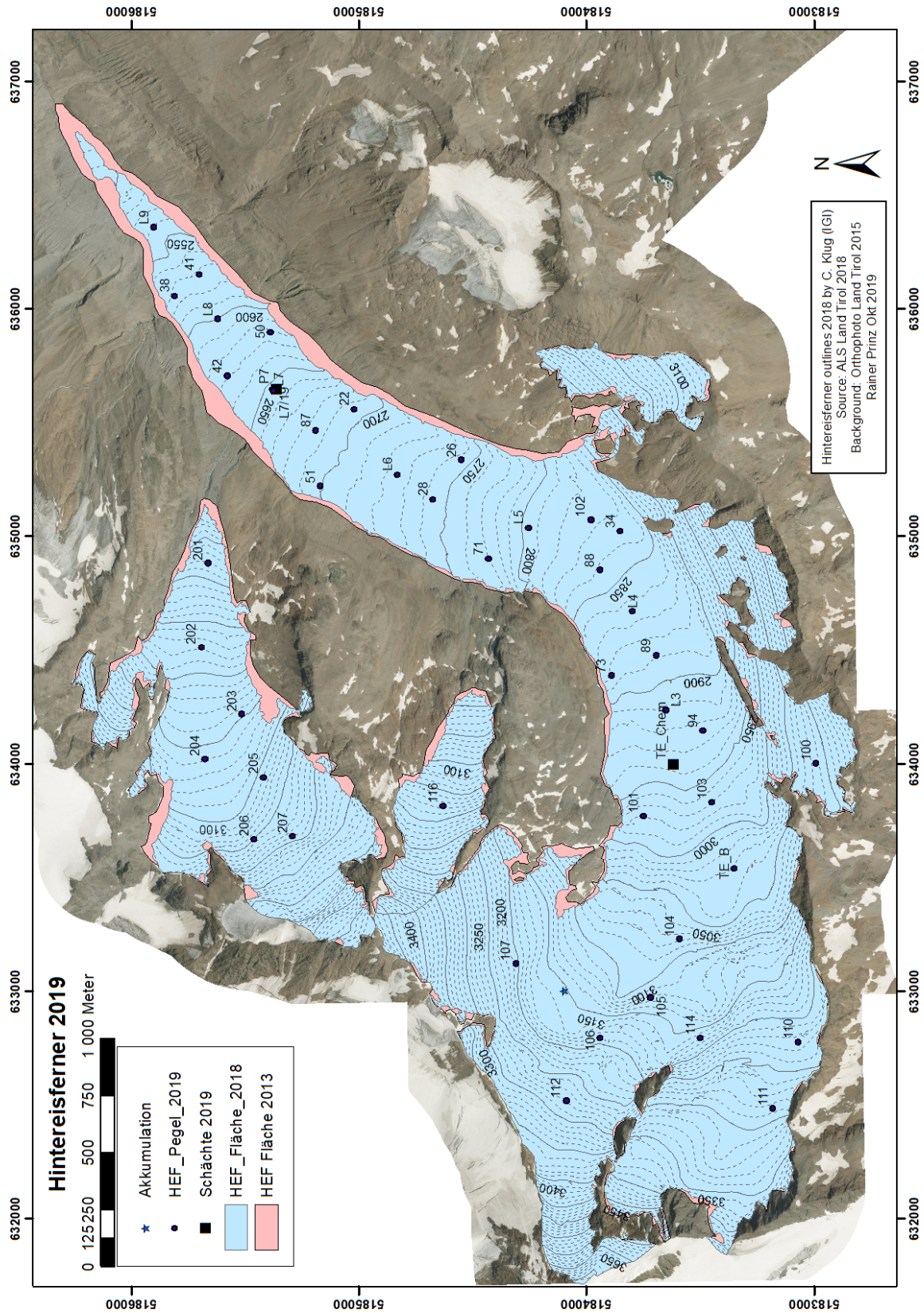


Abbildung 5: Messpunkte am HEF im Haushaltsjahr 2018/19.

Das Messnetz am KWF (Abbildung 6) wurde im Haushaltsjahr 2013/14 vom ACINN komplett neu aufgesetzt. 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 2018/19 wurden 14 Pegel zu zwei Terminen abgelesen und ein Schacht zur Bestimmung der Rücklagen angelegt.

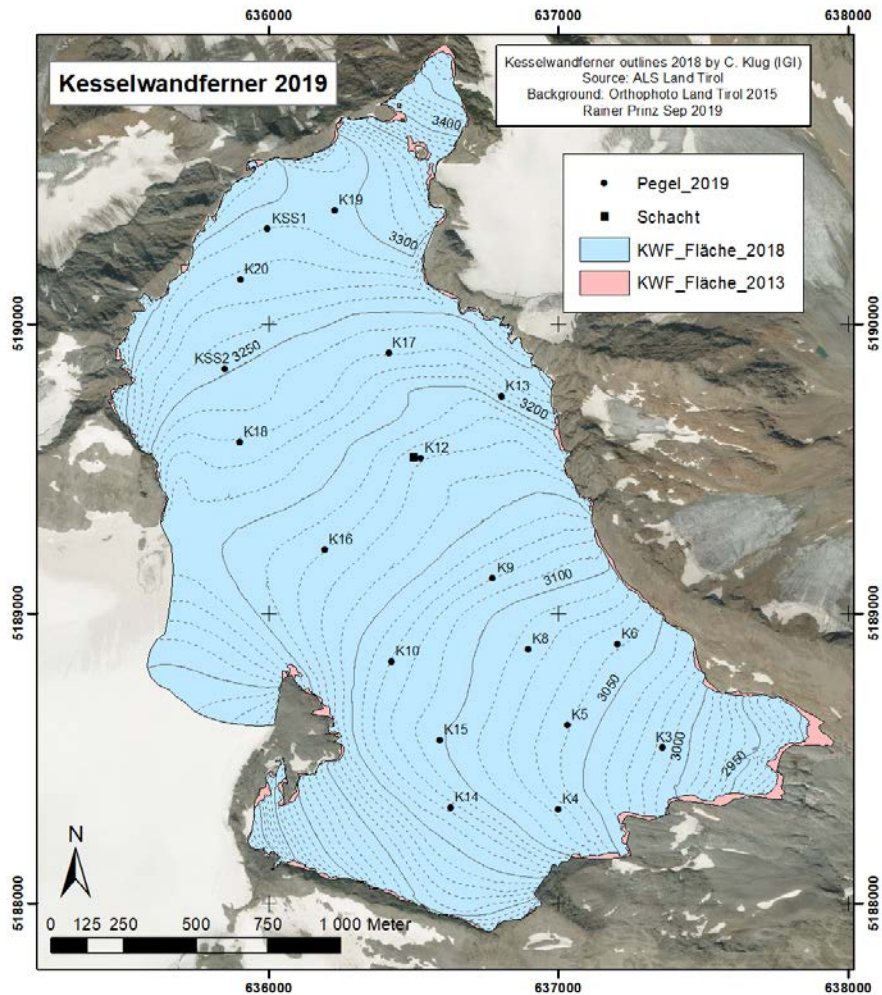


Abbildung 6: Messpunkte am KWF im Haushaltsjahr 2018/19.

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 2018/19 liegen deutlich (50%) über dem Mittel der Klimanormalperiode 1981-2010 (Tabelle 4 und Abbildung 7). Die zweit höchste je gemessene Winterbilanz ist die Folge. Die Akkumulationsperiode dauerte aber bis Anfang Juni und brachte vor allem im kalten Mai noch bedeutenden Schneezuwachs.
- Auch im Sommerhalbjahr waren die Niederschläge in fast allen Monaten deutlich über dem langjährigen Mittel. Im gesamten Haushaltsjahr lagen die Niederschläge mit 918 mm damit etwa ein Drittel über dem Durchschnitt.
- Die Lufttemperatur übersteigt das langjährige Mittel (1981-2010) um 1,5°C, wobei die positive Abweichung im Sommerhalbjahr deutlich höher liegt als im Winterhalbjahr (Tabelle 4). In nur drei Monaten lag die Lufttemperatur unter dem langjährigen Mittel. In allen anderen Monaten meist deutlich darüber. Der Juni 2019 war sogar der heißeste seit Beginn der Aufzeichnungen (+5,7°C, Abbildung 8) und ebenso der Sommer (Juni-August, +2,2°C).
- 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 im Mai s.o.). Durch die mächtige Winterschneedecke und die günstigen Reflektionseigenschaften des frischen Schnees im Mai konnte sich die Schneedecke bis weit in den Juli hinein halten und somit trotz der hohen Lufttemperaturen die Eisablation merklich unterbinden (Abbildung 11 und Abbildung 12).
- Bis Ende August war das Gletschereis unterhalb etwa 3150 m größtenteils aper. In den höheren Bereichen konnten sich aufgrund der großen Schneemengen im Winter zum Teil geschlossene Akkumulationsfelder erhalten.
- Nach ersten Schneefälle am 05.09. und um den 25.09. endet die Ablationsperiode am 02.10.2019 mit der Ausbildung einer dauerhaften Schneedecke.

Tabelle 4: Monatsmittel der Lufttemperatur und Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent, 2018/19 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1981-2010.

Monat	Lufttemperatur (°C)			Niederschlag (mm)		
	1981-2010	2018/19	Abweichung	1981-2010	2018/19	Abweichung
Oktober	3.7	5.9	2.2	57	118	61
November	-2.0	0.8	2.8	59	32	-27
Dezember	-2.9	-4.2	-1.3	43	93	50
Jänner	-5.8	-8.9	-3.1	36	90	54
Februar	-5.9	-2.7	3.2	35	21	-14
März	-2.7	-1.6	1.1	44	36	-8
April	0.6	2.2	1.6	42	84	42
Winter	-2.4	-1.2	1.2	316	475	159
Mai	5.6	3.6	-2.0	65	94	29
Juni	8.7	14.4	5.7	75	76	1
Juli	10.8	13.7	2.9	82	78	-4
August	10.2	12.7	2.5	87	125	38
September	7.0	8.9	1.9	54	69	15
Sommer	8.5	10.7	2.2	363	443	80
Hydr. Jahr	2.1	3.6	1.5	679	918	239

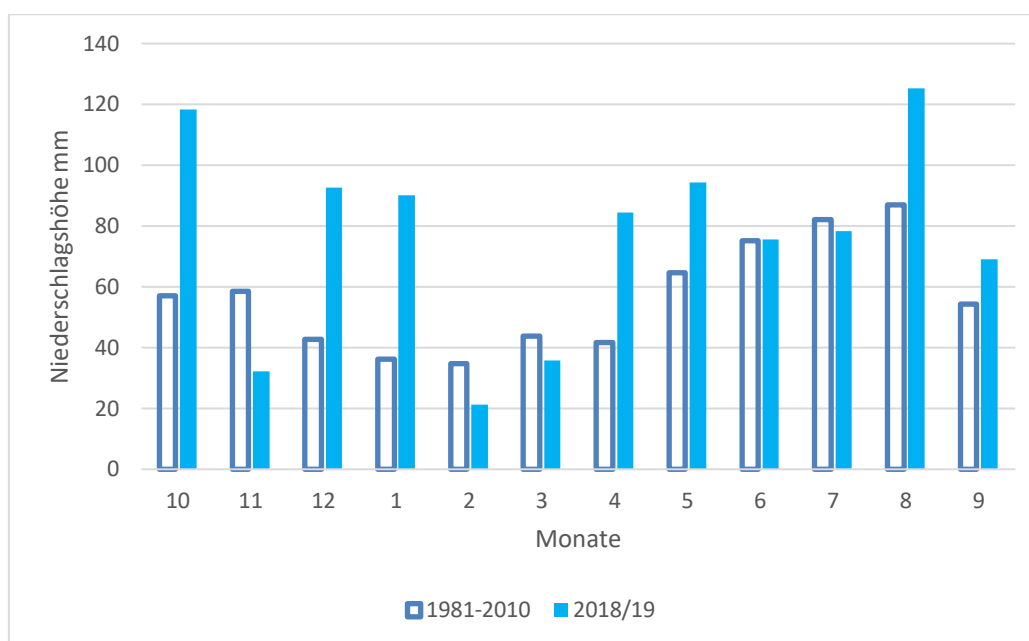


Abbildung 7: Die Monatssummen des Niederschlages an der Station Vent: Vergleich des langjährigen Mittels (1981-2010) mit dem hydrologischen Jahr 2018/19.

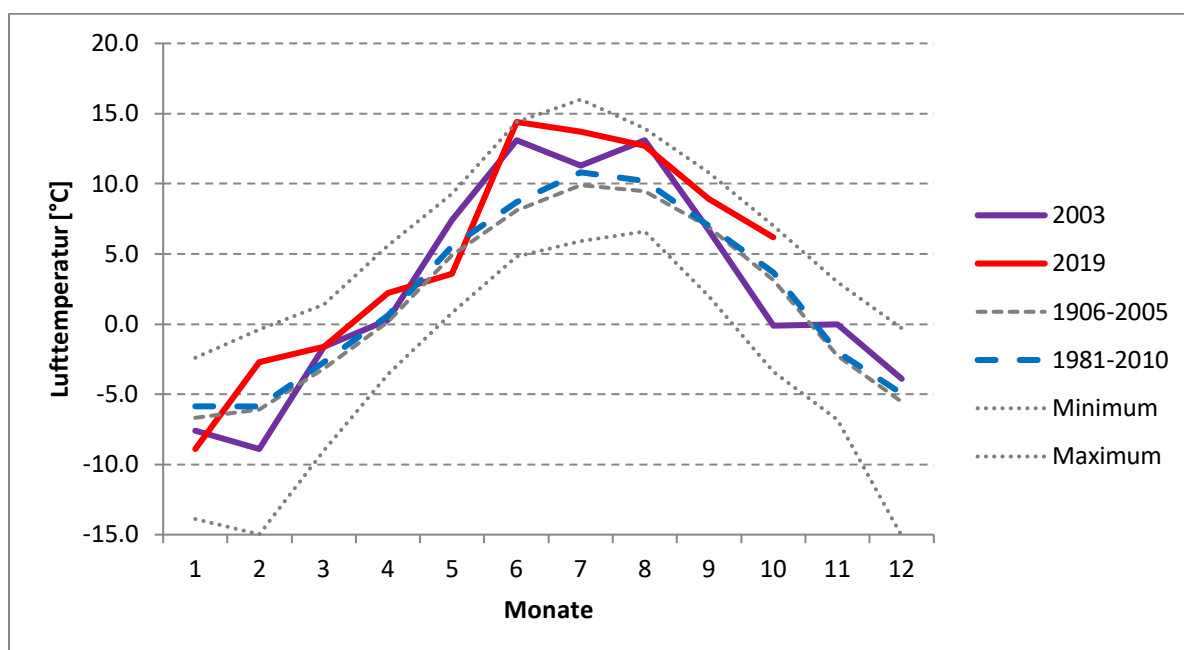


Abbildung 8: Die Monatsmittel der Lufttemperatur an der Station Vent: Vergleich der langjährigen Mittel (1906-2005 sowie 1981-2010) der Lufttemperatur mit den Jahren 2003 (bisheriger „Rekordsommer“) und 2019. Der Juni und der Sommer 2019 (Juni bis August) waren die bisher wärmsten je an der Station in Vent gemessenen.

C.2 Massenbilanz Hintereisferner

C.2.1 Winterbilanz

Die Messungen zur Erstellung der Winterbilanz 2018/19 wurde am 01.+02.05.2019 durchgeführt. Das Wetterfenster bot nur eineinhalb Tage Zeit, die Messungen durchzuführen.

53 Schneehöhenmesspunkte und zwei Schneeschächte (Tabelle 5 und Abbildung 10) zur Dichtemessung bildeten die Basis zur Analyse der Winterbilanz. Die große Schneehöhe und das kurze Zeitfenster ließen nicht mehr Schneedichtemessungen zu. Da jedoch bisher kaum Schneeschmelzverhältnisse in diesen Höhenlagen auftraten, war kein Dichtegradient entlang der Höhe zu erwarten. Außerdem war der Gletscher zum Ende des Haushaltsjahres 2018 annähernd schneefrei. Somit mussten die Schächte auch nicht zur stratigraphischen Bestimmung des letztjährigen Oberflächenhorizontes herangezogen werden.

Die Lage der Schächte wurde leicht abgeändert und dem Messprogramm einer Masterarbeit angepasst, deren Grundlage die Veränderung der Schneehöhe und –dichte im Laufe des Winters zur Validierung eines Schneedeckenmodells bildet (Abbildung 9). Zusätzlich wurden am Schacht TE_Chem Schneeproben gezogen und diese anschließend im Labor auf ihre Ionenzusammensetzung analysiert.

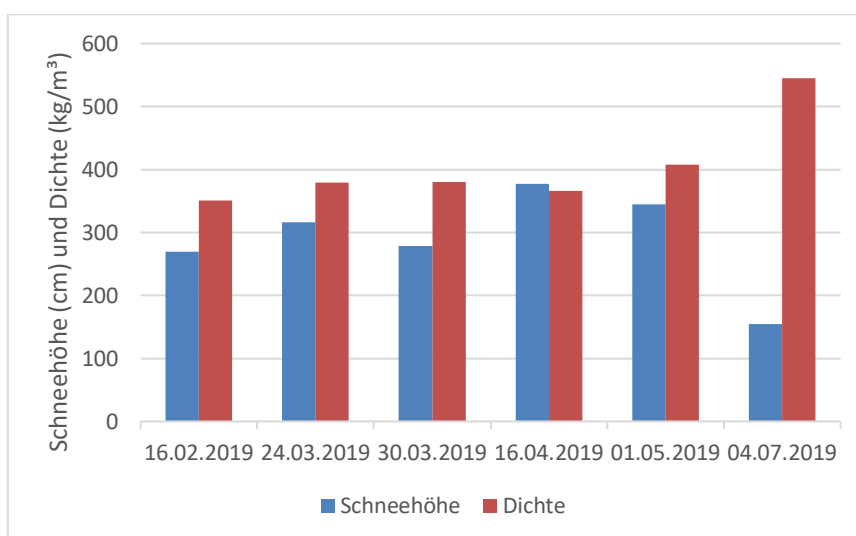


Abbildung 9: Verlauf der Schneehöhe und Schneedichte am Schacht TE_Chem im Laufe des Winters 2018/19. Die Schneehöhe variiert durch Schneefall, Setzung und Schmelze, während die Dichte im Laufe des Winters annähernd konstant bleibt, mit Einsetzen der Schmelzperiode aber stark zunimmt.

Die Analyse der Winterbilanz ist Abbildung 10 und Tabelle 7 dargestellt. Das vertikale Bilanzprofil der Winterbilanz ist in Abbildung 13 abgebildet. Die detaillierten Mess- und Beobachtungswerte aus den Schneeschächten sind im Kapitel D.2.1 aufgelistet.

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).

	Schneehöhe [cm]	Dichte [kg/m ³]	b _w [mm w.e.]
TE_chem	386	389	1500
Pit1 (L7)	285	408	1162

Die mittlere spezifische Winterbilanz des Hintereisferners 01.10.2018-30.04.2019 beträgt:

$$b_w = 1650 \text{ mm w.e.}$$

$$B_w = 10,271 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ Wasser}$$

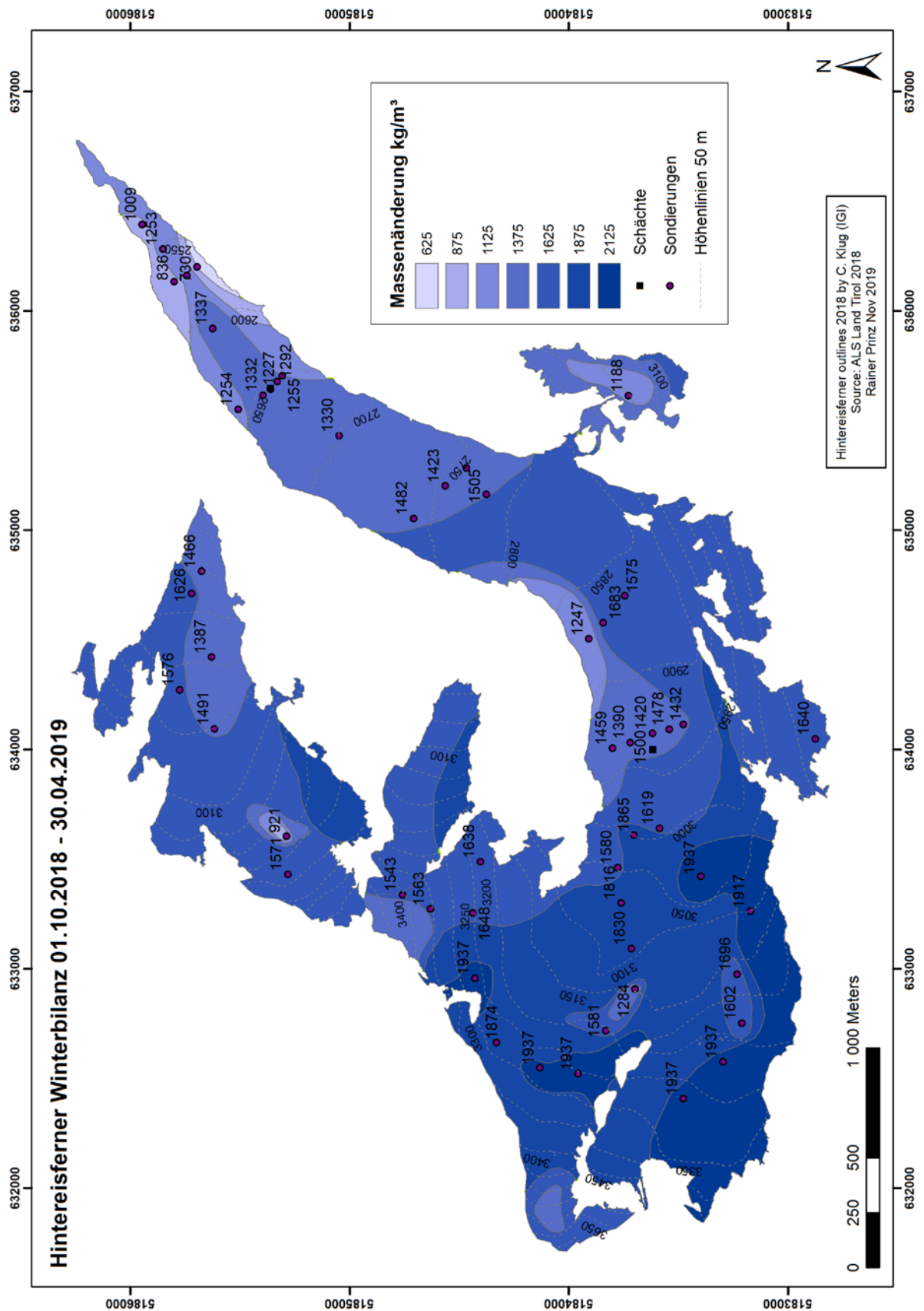


Abbildung 10: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz im Winterhaushaltsjahr am Hinterseisferner (01.10.2018 – 30.04.2019).

C.2.2 Jahresbilanz

Der Bestimmung der Ablation im Haushaltsjahr 2018/19 liegen Messungen und Beobachtungen aus vier Feldkampagnen und an 26 Pegeln zugrunde (Tabelle 6). Aufgrund der starken Spaltenbildung konnten die Firnpegel nur eingeschränkt erreicht werden. Die Ablesung und Neubohrung der Pegel am Langtaufererjochferner wurde durch ein technisches Gebrechen am Bohrer verhindert.

Die Abschlussbegehung am HEF fand am 11.+12.10.2019 statt. Aufgrund der vielen, in den letzten Jahren mit starker Ablation aufgetreten Spalten, die unter einer dünnen Schneeaufgabe versteckt waren, wurde auf eine Messung der Massenrücklagen in den oberen Becken verzichtet. Die dafür notwendigen Werte wurden vom KWF übertragen.

Die Punktwerte sind neben den vertikalen Bilanzprofilen in Abbildung 13 sowie in Abbildung 14 eingetragen. Tabelle 7 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2018/19. Eine Bestätigung dieser Extrapolation bildet der Vergleich mit der geodätischen Massenbilanz aus der Höhenänderung von zwei Laserscans (Abbildung 13).

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 im Mai s.o.). Durch die mächtige Winterschneedecke und die günstigen Reflektionseigenschaften des frischen Schnees im Mai konnte sich die Schneedecke bis weit in den Juli hinein halten und somit trotz der hohen Lufttemperaturen die Eisablation merklich unterbinden (Abbildung 11 und Abbildung 12).

Dennoch war bis Ende August das Gletschereis unterhalb etwa 3150 m größtenteils aper. In den höheren Bereichen konnten sich aufgrund der großen Schneemengen im Winter zum Teil geschlossene Akkumulationsfelder erhalten.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Hintereisferners für das hydrologische Haushaltsjahr
01.10.2018 – 30.09.2019 beträgt: **$b = -680$ mm w.e.**

Das entspricht: **$B = -4,231 \cdot 10^6$ m³ Wasser**

Hintereisferner - Blick Richtung Weißkugel und Langtauferspitze
25.07.18 09:00 3.0°C

universität
innsbruck



Abbildung 11: Die Ausaperung im oberen Bereich des Hintereisferners am 25.07.2018.

Hintereisferner - Blick Richtung Weißkugel und Langtauferspitze
25.07.19 09:00 10.0°C

universität
innsbruck



Abbildung 12: Die Ausaperung im oberen Bereich des Hintereisferners am 25.07.2019.

Tabelle 6: Ablationsverlauf an den Pegeln des Hintereisferners 2018/19. Die Ablation zu den Ablesezeitpunkten ist jeweils die Ablation seit der letzten Ableseung, Ablation ist die Gesamtablation im Haushaltsjahr.

Name	Ablation (cm)					Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz 2018/19 (kg/m ²)
	22.07.	24.07	28.08.	24.09	12.10.	Sep.18	Sep.19	
L9	129		215	103	28	0	0	-4275
41	9	17	242	104	23	0	0	-3555
38					352	0	0	-3168
L8	166		212	97	25	0	0	-4500
42			303		74	0	0	-3393
L7	102	13	174	65	15	0	0	-3321
87	0	0	184		62	0	0	-2214
22			236		4	0	0	-2160
51			236		68	0	0	-2736
L6	0	3	204		52	0	0	-2331
28			172		61	0	0	-2097
LIDAR = L5	0	0	166		45	0	0	-1899
71			155		22	0	0	-1593
88			138		60	0	0	-1782
L4			52		56	0	0	-972
89			133		54	0	0	-1683
L3			114		51	0	0	-1485
94			80		0	0	0	-720
103			67		45	0	12	-996
101			122		45	0	12	-1491
104			57		40	0	12	-861
113			0		30	0	24	-246
105			59		30	0	24	-777
109			50		30	0	24	-696
106			91		30	0	12	-1077
107			50		30	0	24	-696
WJ			88		70	0	24	377
aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt								
Schneehöhe								

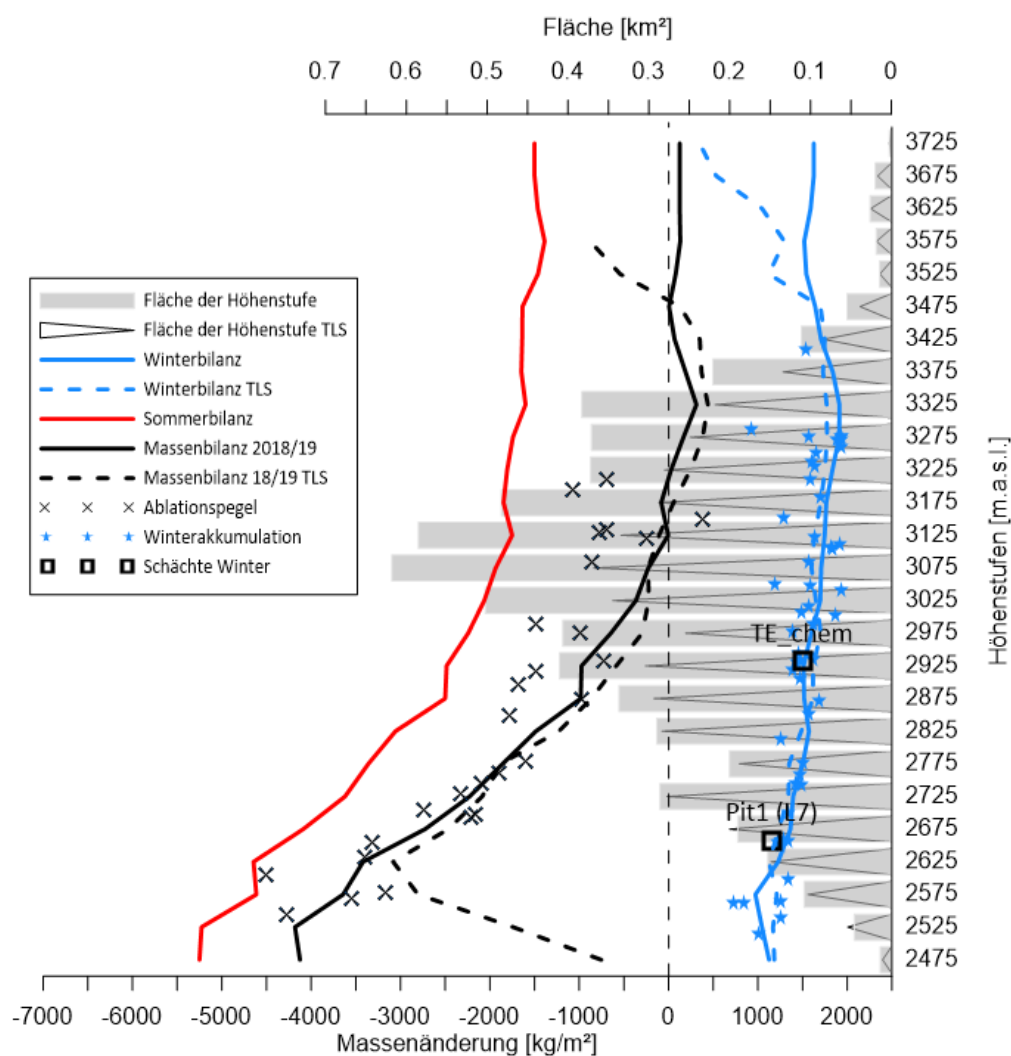
C.2.3 Geodätische Massenbilanz

Wie bereits im letzten Bilanzjahr wurde auch heuer die Massenbilanz geodätisch mit dem TLS bestimmt. Die Akquisitionsdaten der Laserscans waren 09.10.2018 und 01.05.2019 (Winterbilanz) bzw. 30.09.2019 (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 wurde für die Winterbilanz eine Dichte von 400 kg/m³ und für die Jahresbilanz eine Dichte von 850 kg/m³ verwendet (Klug et al., 2018). Die mittlere spezifische Jahresbilanz aus der geodätischen Methode entspricht -687 mm w.e. und liegt somit innerhalb der Messungengenauigkeit 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. Im Gegensatz dazu deckt der TLS Höhenstufen des HEF ab, die aufgrund ihrer Unzugänglichkeit glaziologisch nicht gemessen werden können. Diese besitzen aber eine sehr Flächenausdehnung, sodass sie auf die Massenbilanz 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).

Massenhaushalt Hintereisferner 2018/19

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



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 13: Die vertikalen Bilanzprofile nach der glaziologischen und geodätischen (TLS) Methode am Hintereisferner im Haushaltsjahr 2018/19.

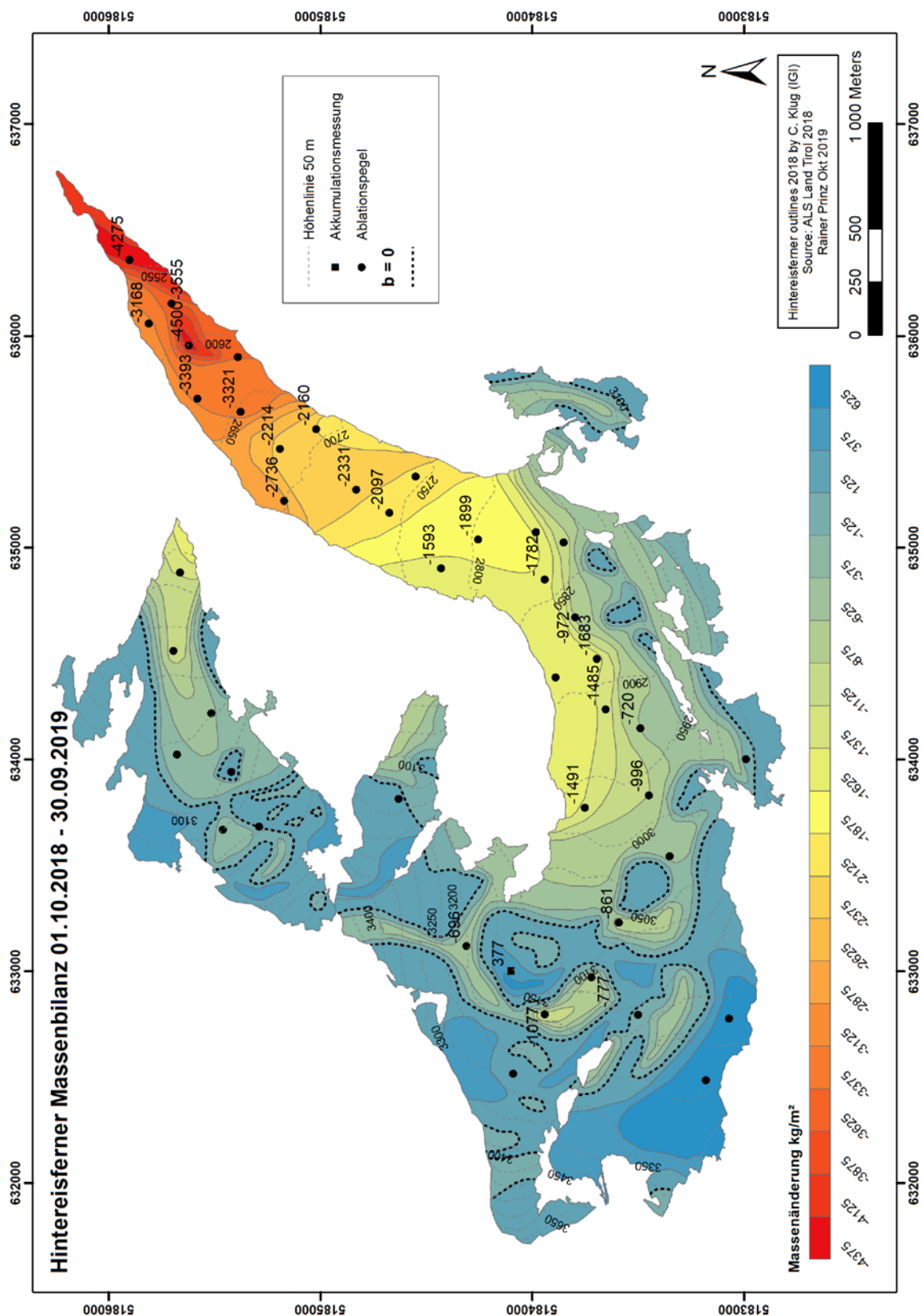


Abbildung 14: Die räumliche Verteilung der Massenbilanz am Hinterseisferner im Haushaltsjahr 01.10.2018 – 30.09.2019.

Tabelle 7: Kennzahlen und glaziologische Massenbilanzen des Hintereisferners im Haushaltsjahr 2018/19 für die Gesamtfläche und aufgeteilt nach Höhenstufen.

	Winter			Sommer		gesamtes Jahr	
	Fläche	B _w	b _w	B _s	b _s	B	b
	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]
	6224	10271176	1650	-14502199	-2330	-4231022	-680
S _c [10 ³ m ²]	2227		B _c [m ³ w.e.]	510329		b _c [mm w.e.]	229
S _A [10 ³ m ²]	3997		B _A [m ³ w.e.]	-4741351		b _A [mm w.e.]	-1186
ELA	3213	m a.s.l.	S _c /S _A	0.557		AAR	0.358
Winterbilanz				Sommerbilanz		Jahresbilanz	
Höhenstufe	Fläche	B _w	b _w	B _s	b _s	B	b
[m.a.s.l.]	[10 ³ m ²]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]	[m ³ w.e.]	[mm w.e.]
2475	14	15396	1125	-71848	-5250	-56452	-4125
2525	46	47980	1046	-239815	-5227	-191835	-4182
2575	108	104813	971	-497962	-4614	-393149	-3643
2625	153	187536	1226	-710284	-4645	-522748	-3419
2675	190	259191	1364	-777242	-4090	-518051	-2726
2725	286	398977	1394	-1036584	-3621	-637607	-2228
2775	200	300858	1502	-672891	-3360	-372033	-1858
2825	290	456019	1571	-886921	-3056	-430902	-1485
2875	337	510933	1517	-842266	-2500	-331333	-984
2925	411	620350	1511	-1020260	-2484	-399911	-974
2975	406	649242	1597	-911813	-2243	-262571	-646
3025	502	852705	1698	-1036258	-2063	-183553	-365
3075	618	1055663	1708	-1195427	-1935	-139763	-226
3125	585	1022388	1747	-1024423	-1751	-2035	-3
3175	482	851427	1765	-891122	-1847	-39695	-82
3225	372	682450	1834	-672257	-1806	10193	27
3275	371	708504	1909	-646687	-1743	61817	167
3325	383	732194	1912	-612871	-1600	119322	312
3375	221	405639	1837	-363768	-1648	41871	190
3425	111	189922	1706	-182491	-1639	7431	67
3475	55	90133	1641	-89822	-1635	311	6
3525	15	22597	1541	-21432	-1462	1166	80
3575	19	28480	1518	-26029	-1388	2450	131
3625	26	41659	1590	-38383	-1465	3276	125
3675	20	32430	1625	-29935	-1500	2495	125
3725	2	3692	1625	-3408	-1500	284	125
Summe	6224	10271176	1650	-14502199	-2330	-4231022	-680

C.3 Atmosphärische Deposition Hintereisferner

Im Rahmen der Messung der Winterbilanz wurden Schneeproben gezogen. Die Analyse und Zusammenfassung wurde von Dr. Ulricke Nickus (ACINN) erstellt.

Am 01.05.2019 wurde der Eintrag atmosphärischer Spurenstoffe auf dem Hintereisferner untersucht. Dazu wurde an der Stelle TE_Chem in 2932 m Höhe die Winterschneedecke bis zum Sommerhorizont des voran gegangenen Jahres (Eisoberfläche) beprobt. Entlang eines vertikalen Profils wurden 10 Schneeproben in etwa 40–10 cm Intervallen mit einem Edelstahlzylinder genommen und in Polyethylenflaschen (500 ml) abgefüllt. Bis zur chemischen Analyse im Labor des Instituts für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck, wurden die Proben bei -18°C dunkel gelagert. Neben elektrischer Leitfähigkeit und pH-Wert wurden anorganische Komponenten (Chlorid, Nitrat, Sulfat, Ammonium, Natrium, Kalium, Magnesium und Kalzium) mit Ionenaustauschchromatographie (ICS 1000 und ICS 1100, Thermo Fisher) bestimmt.

Tabelle 8: Volumen gewichtete Mittel von elektrischer Leitfähigkeit (EL), pH-Wert und Ionenkonzentrationen (a), sowie Wasserwert (WE) und deponierte Gesamtmengen an Chlorid, Nitrat, Sulfat, Natrium, Ammonium, Kalium, Magnesium und Kalzium (b)

(a)

Konzentration	EL	pH	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Ammonium	Kalium	Magnesium	Kalzium
	$\mu\text{S/cm}$		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	4.2	5.52	0.23	0.33	0.16	0.08	0.17	0.03	0.04	0.15

(b)

Deposition	WE	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Ammonium	Kalium	Magnesium	Kalzium
	kg/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
	1466	0.33	0.48	0.24	0.12	0.25	0.04	0.05	0.22

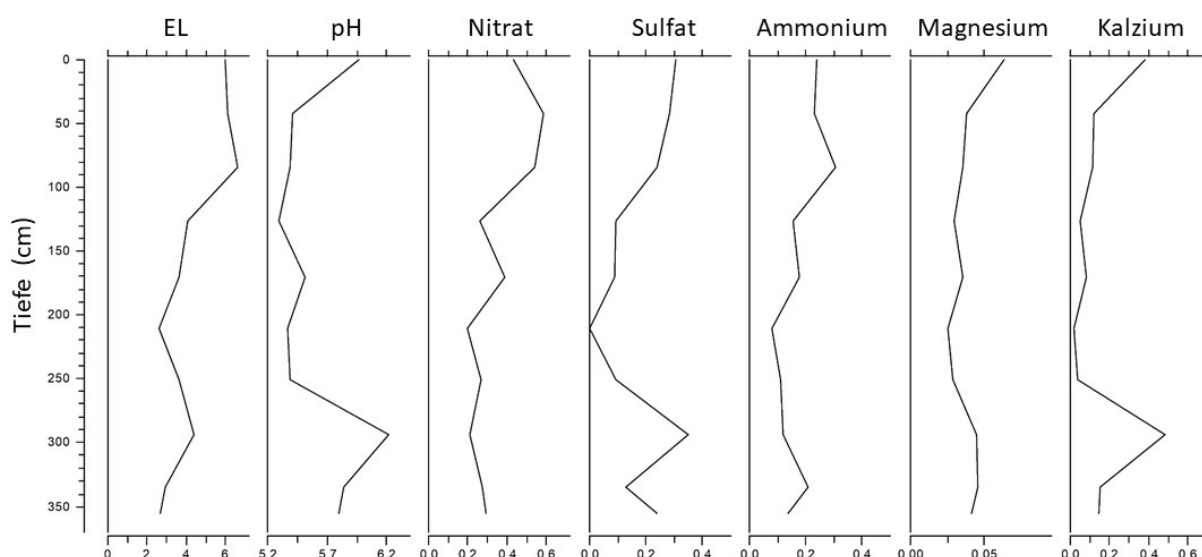


Abbildung 15: Vertikale Verteilung von elektrischer Leitfähigkeit ($\mu\text{S/cm}$), pH und ausgewählten Ionenkonzentrationen (mg/l).

Konzentration und Deposition der untersuchten atmosphärischen Spurenstoffe entsprachen 2019 (Tabelle 8) etwa den Werten, die bei früheren Untersuchungen gemessen wurden (Nickus et al., 1997, 1998). Die Ionenkonzentrationen zeigten die charakteristische saisonale Verteilung - etwa doppelt bis dreimal so hohe Werte im Frühjahrsschnee verglichen zu den unteren Teilen der Schneedecke (Abbildung 15). Konzentrationsmaxima von Kalzium, Sulfat und pH-Wert im unteren Drittel der Schneedecke könnten auf den Eintrag von Saharastaub hindeuten und stimmen stratigraphisch mit dem Schneesiederschlag aus dem Sturmtief Vaia (Ende Oktober 2008) überein. Die niedrige vertikale Auflösung in der Probenahme erschwert aber eine genauere Interpretation der Ergebnisse.

C.4 Massenbilanz Kesselwandferner

Der Bestimmung der Massenbilanz im Haushaltsjahr 2018/19 liegen Messungen und Beobachtungen aus zwei Feldkampagnen an 14 Pegeln zugrunde (Tabelle 9 und Abbildung 6). Zur Messung der Dichte der Massenrücklage in Form von Altschnee wurde ein Schneeschacht angelegt.

Die Abschlussbegehung am KWF fand am 25.+26.09.2019 in Form eines glaziologischen Praktikums des ACINN statt. Schlechtwetter verhinderte eine Ablesung aller Pegel zu diesem Zeitpunkt, jedoch brachte die Witterung zwischen den beiden Begehungen (03.09. und 25.09.) keine wesentliche Massenänderung. Zur Extrapolation der Punktwerte auf die Gletscherfläche wurden Fotos zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung (03.09.2019) hinzugezogen (Abbildung 16). Die Punktwerte der Massenbilanz (Pegel und Schächte) sind in der Abbildung des vertikalen Bilanzprofils (Abbildung 17) und in der Bilanzkarte (Abbildung 18) eingetragen. Tabelle 10 zeigt die Bilanzwerte nach Höhenstufen sowie alle weiteren Kennwerte der Massenbilanz 2018/19.

Am KWF hat der Verlauf der Witterung wie beim HEF zu einer moderat negativen Jahresbilanz geführt.

Die mittlere spezifische Massenbilanz des Kesselwandferners für das hydrologische Haushaltsjahr 01.10.2018 – 30.09.2019 beträgt: $b = -337 \text{ mm w.e.}$,
das entspricht $B = -1,19 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser

Tabelle 9: KWF, Haushaltsjahr 2018/19: Die Massenänderung an den einzelnen Messpunkten und zwischen den Ablesezeitpunkten.

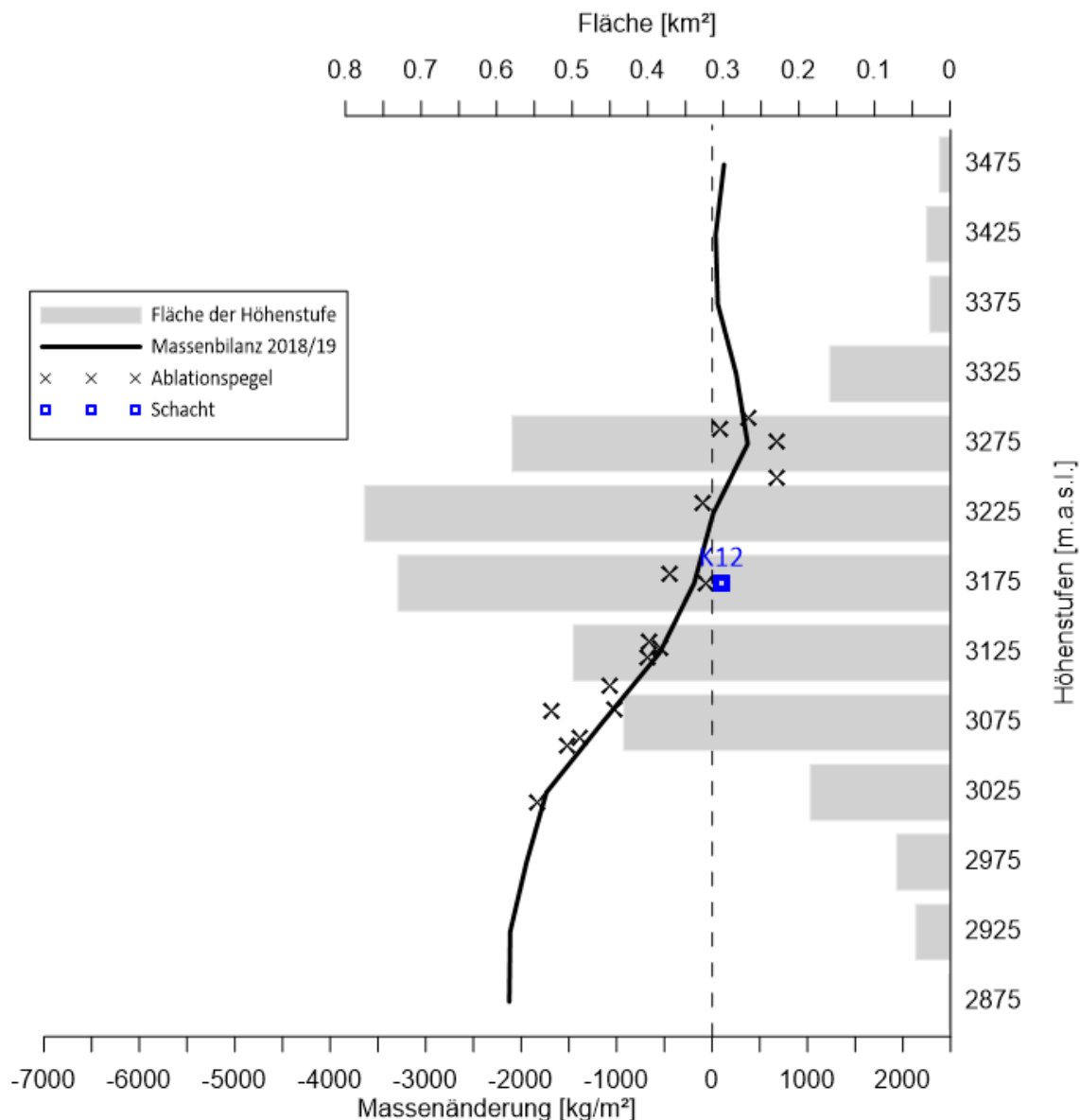
Name	Ablation (cm)		Akkumulation (kg/m ²)		Massenbilanz 2018/19 (kg/m ²)
	03.09.	25.09.	Sep.18	Sep.19	
K3	190	15	0	20	-1825
K4	175	15	0	29	-1681
K5	146	12	0	32	-1390
K6	147	26	0	33	-1524
K8	96	20	0	24	-1020
K9	72	5	0	24	-669
K10	73	5	0	37	-665
K12	10	0	0	27	-63
K14	55	10	0	37	-548
K15	114	10	0	37	-1079
K16	53	0	0	37	-440
K17			0	202	202
K18	17	0	0	49	-104
K19	-4	0	0	49	85
K20			0	679	679
SS1			0	386	386
SS2			0	679	679
aus umliegenden Pegeln berechnet oder geschätzt					



Abbildung 16: Blick von Pegel K14 über die mittleren und oberen Bereiche des KWF zum Fluchtkogel.
Foto: Rainer Prinz, 03.09.2019.

Massenhaushalt Kesselwandferner 2018/19

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



Grafik: Rainer Prinz, ACINN, Univ. Innsbruck

Abbildung 17: Das vertikale Bilanzprofil am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 2018/19.

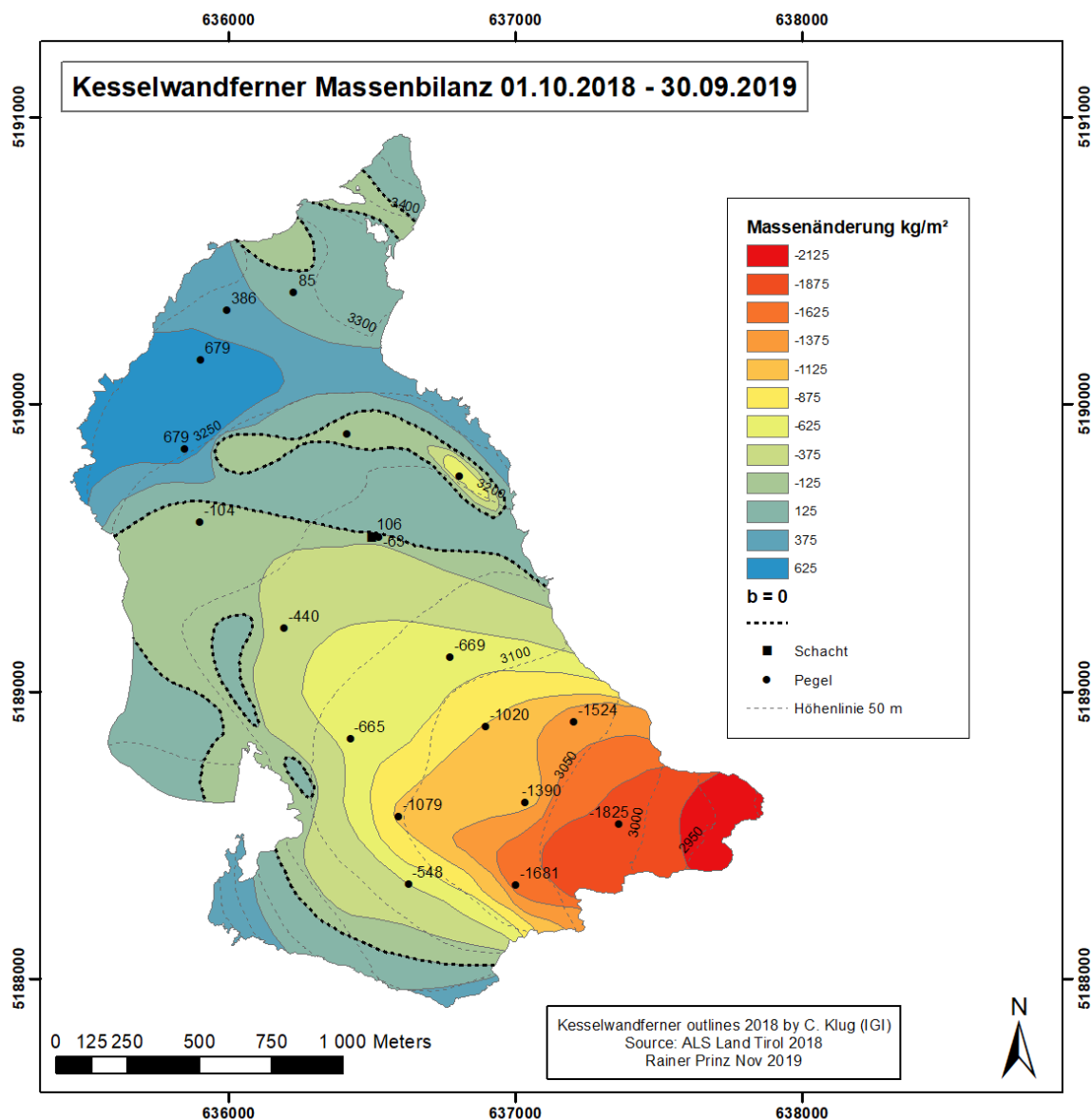


Abbildung 18: Punktwerte und räumliche Verteilung der Massenbilanz am Kesselwandferner im Haushaltsjahr 01.10.2018 – 30.09.2019.

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

		gesamtes Jahr				
	Fläche [10 ³ m ²]	B [m ³ w.e.]	b [mm w.e.]			
	3549	-1194455	-337			
S_C [10³ m²]	1356		B_C [m³ w.e.]	359567	b_C [mm w.e.]	265
S_A [10³ m²]	2193		B_A [m³ w.e.]	-1554022	b_A [mm w.e.]	-709
ELA	3222	m.a.s.l	S_C/S_A	0.618	AAR	0.382
Jahresbilanz						
	Höhenstufe [m.a.s.l.]	Fläche [10 ³ m ²]	B [m ³ w.e.]	b [mm w.e.]		
	2875	2	-3758	-2125		
	2925	45	-95662	-2116		
	2975	71	-137106	-1943		
	3025	185	-320606	-1735		
	3075	432	-496964	-1150		
	3125	499	-274188	-550		
	3175	731	-136967	-187		
	3225	775	9602	12		
	3275	580	216387	373		
	3325	159	40291	253		
	3375	27	1593	60		
	3425	31	1188	38		
	3475	14	1734	125		
	Summe	3549	-1194455	-337		

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 2018/19. 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 01.04., 01.06., 01.08. und 01.10. sowie bei Gelegenheit im Rahmen der Feldkampagnen im Rofental besucht (siehe Kapitel D.3.1, Tabelle 14), die Entleerung und Neubefüllung mit Salzmischung erfolgte am 11.10.2019.

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
Hochjochospiz	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 2018/19.

Messstelle	Vent N-Waage	Vent	Hochjochospiz	Vernagtbrücke	Proviantdepot	Rofenberg	Latschbloder	Station Hintereis
Seehöhe	1900 m	1900 m	2360 m	2640 m	2737 m	2827 m	2910 m	2970 m
Jahr								
01.10.2018 - 30.09.2019	918	1008	1063	1294	1160	1304	1388	1499
Verhältnis zu Vent N-Waage		1.10	1.16	1.41	1.26	1.42	1.51	1.63
Winter								
01.10.2018- 31.03.2019	391	442	411	520	430	586	676	566
Verhältnis zu Vent N-Waage		1.13	1.05	1.33	1.10	1.50	1.73	1.45
Sommer								
01.04.2019 - 30.09.2019	527	566	653	774	730	718	712	933
Verhältnis zu Vent N-Waage		1.07	1.24	1.47	1.38	1.36	1.35	1.77

Tabelle 13: Niederschlagsmengen (mm) an den Totalisatoren im Einzugsgebiet des Pegels Rofenache nach Monaten im hydrologischen Jahr 2018/19.

Messtelle	Höhe	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	HHJ 2019
Vent N-Waage	1906 m	118	32	93	90	21	36	84	94	76	78	125	69	918
Vent Totalisator	1900 m	117	26	94	137	13	54	110	109	77	87	116	67	1007
Verhältnis zur N-Waage Vent		0.99	0.80	1.01	1.52	0.63	1.52	1.30	1.15	1.02	1.11	0.93	0.97	
Hochjochospiz	2360 m	124	34	97	95	22	38	120	134	94	97	134	74	1063
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.42	1.42	1.24	1.24	1.07	1.07	
Vernagtbrücke	2640 m	157	43	123	120	28	48	134	150	120	125	158	87	1293
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.59	1.59	1.59	1.59	1.26	1.26	
Proviandepot	2737 m	130	36	102	99	23	39	143	160	98	101	146	81	1160
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.70	1.70	1.29	1.29	1.17	1.17	
Rofenberg	2827 m	178	48	139	135	32	54	127	143	114	118	139	77	1304
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51	1.11	1.11	
Latschbloder	2910 m	205	56	160	156	37	62	133	148	110	114	134	74	1388
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.57	1.57	1.45	1.45	1.07	1.07	
Hintereisferner	2970 m	172	47	134	131	31	52	159	177	142	147	198	109	1499
Verhältnis zur N-Waage Vent		1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.88	1.88	1.88	1.88	1.58	1.58	

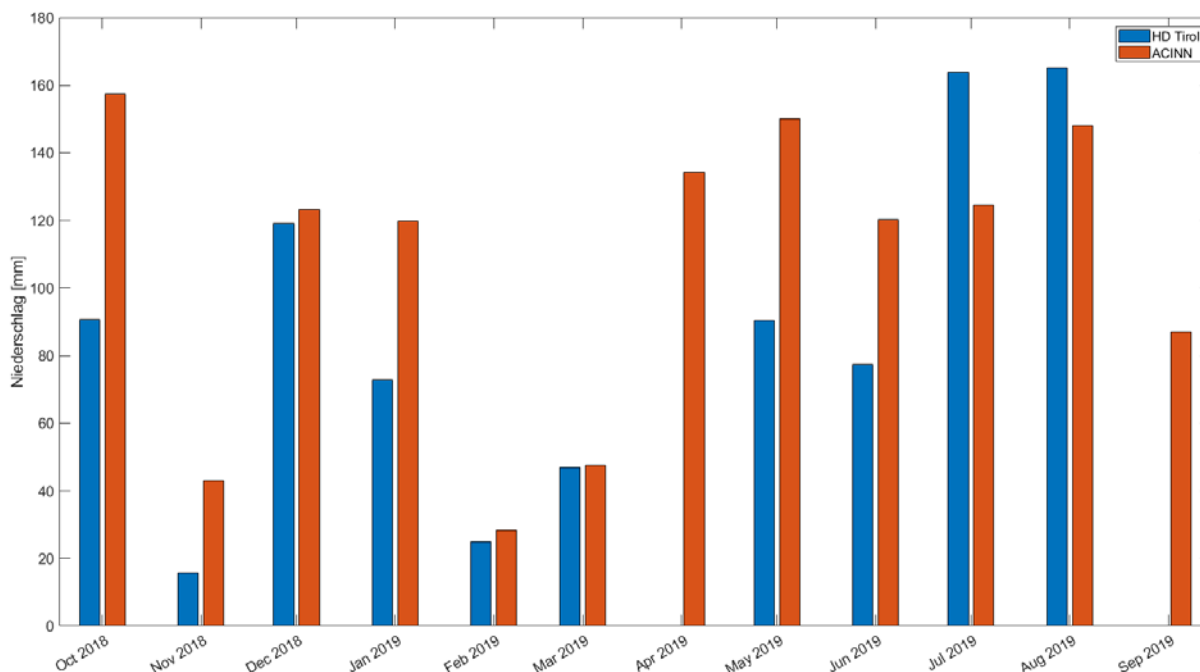


Abbildung 19: Vernagtbrücke: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages an der Niederschlagswaage des HD Tirol und des Totalisators des ACINN.

Abbildung 19 und Abbildung 20 dienen zum Vergleich der Monatssummen des Niederschlages bei der Vernagtbrücke sowie in Vent bzw. Martin-Busch-Hütte. An der Vernagtbrücke misst der Totalisator vor allem in den Wintermonaten mehr Niederschlag als die Waage. Im Juli und August kehrt sich dieses Bild um. In Vent sind die Werte aller drei Messsysteme ähnlich, lediglich im Jänner misst der Totalisator wesentlich mehr Niederschlag als die Waagen. Die Niederschlagswerte an der Martin-Busch-Hütte passen generell gut zu Vent, wenngleich im April, Juni und August vermutlich durch konvektive Ereignisse mehr Niederschlag an der Martin-Busch-Hütte zu verzeichnen war. Die Niederschlagsspitze im Oktober hängt wohl mit dem Sturmtief Vaia Ende Oktober 2018 zusammen, das große Niederschlagsmengen am und südlich des Alpenhauptkammes brachte. In wie weit aber die hohe Monatssumme bzw. auch die große Differenz zu Vent plausibel ist, müsste mit zusätzlichen meteorologischen Daten in höherer zeitlicher Auflösung geprüft werden.

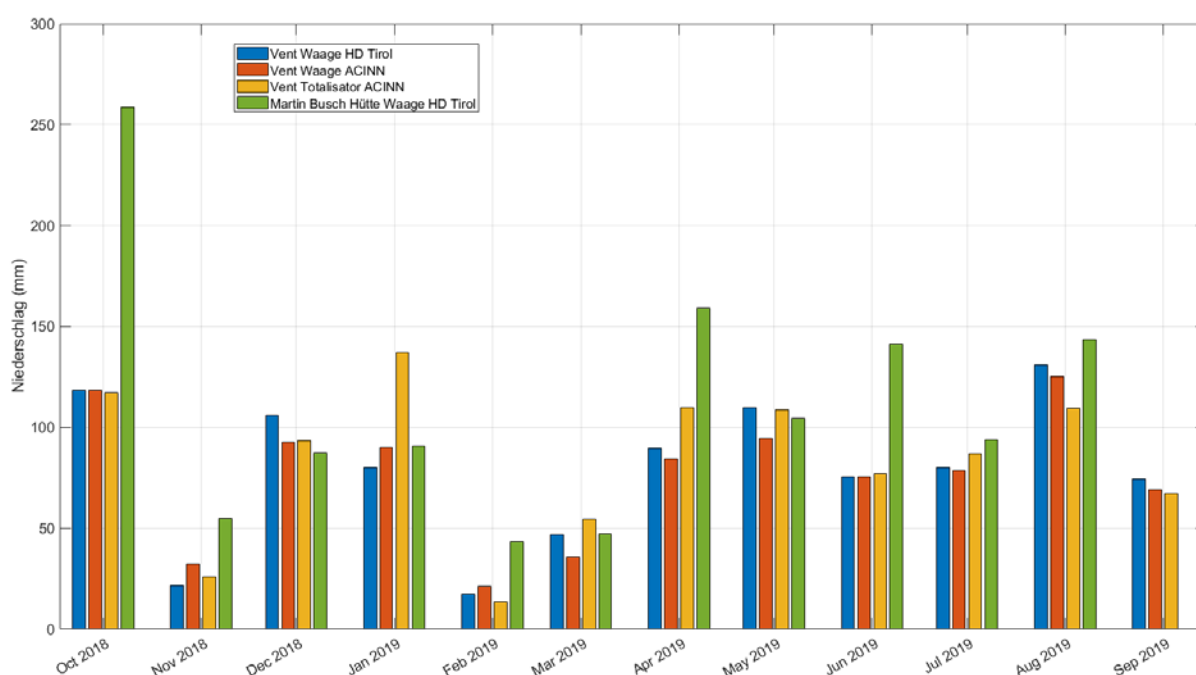


Abbildung 20: Vergleich der Monatssummen des Niederschlages in Vent (an den Niederschlagswaagen des HD Tirol und des ACINN sowie des Totalisators des ACINN in Vent) und an der Niederschlagswaage des HD Tirol bei der Martin-Busch-Hütte. Die Niederschlagssummen des HHJ 2018/19 sind 950 mm (Waage HD Tirol), 918 mm (Waage ACINN), 1008 mm (Totalisator) sowie 1225 mm (Waage Martin-Busch-Hütte, ohne September 2019).

C.6 Literaturverzeichnis

- 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 Gletscherkd. und Glazialgeol., 6(1–2), 37–90, 1970.
- Hoinkes, H. and Steinacker, R.: Zur Parametrisierung der Beziehung Klima - Gletscher, Riv. Ital. di Geofis. e Sci. Affin., 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, Cryosph., 12, 833–849, doi:10.5194/tc-12-833-2018, 2018.
- Nickus, U., Kuhn, M., Baltensperger, U., Delmas, R., Gäggeler, H., Kasper, A., Kromp-Kolb, H., Maupetit, F., Novo, A., Pichlmayer, F., Preunkert, S., Puxbaum, H., Rossi, G., Schöner, W., Schwikowski, M., Seibert, P., Staudinger, M., Trockner, V., Wagenbach, D. and Winiwarter, W.: SNOsP: Ion deposition and concentration in high alpine snow packs, Tellus B Chem. Phys. Meteorol., 49(1), 56–71, doi:10.3402/tellusb.v49i1.15950, 1997.
- Nickus, U., Kuhn, M., Novo, A. and Rossi, G. .: Major element chemistry in alpine snow along a north-south transect in the Eastern Alps, Atmos. Environ., 32(23), 4053–4060, doi:10.1016/S1352-2310(98)00231-3, 1998.

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	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. ANHANG

D.1 Geleistete Arbeiten

D.1.1 Feldkampagnen

Die Feldkampagnen in der Saison 2018/19 im Rofental erforderten fünf Arbeitseinsätze am HEF und zwei am KWF, die meistens wurden mehrtägig absolviert. Am HEF wurden 11 Pegel, am KWF 2 Pegel neu gebohrt, mehrere Pegel wurden aufgrund der Unzugänglichkeit nicht mehr nachgebohrt. Zusätzlich wurde der Regenmesser in Vent monatlich, jene im Rofental wie gewohnt ab Anfang April alle zwei Monate abgelesen. Drei Kampagnen (Neubefüllung Totalisatoren zusammen mit der Abschlussbegehung, Austausch der Niederschlagswaagen Vent/Station Hintereis und Pegelbohrungen am HEF) wurden durch einen Hubschrauber unterstützt.

Personentage

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

Personen: Rainer Prinz, Sam Williams, Tobias Sauter, Lisa Bouvet, Lilian Schuster, Colin Ronald, Simon Schöpf, Robbie Shone, Christoph Klug

Nicht in den Personentagen erfasst: 9 Studierende des Gustavus Adolphus College (Minnesota) sowie 7 Studierende des ACINN

Alle Kampagnen verliefen unfall- und beinahe 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 Gletscherflächen und die Flächen-Höhenverteilung von HEF und KWF wurden anhand des Laserscans des Landes Tirol 2018 aktualisiert.

- Auswertung der geodätischen Winter- und Jahresbilanz auf Basis von drei Lasercans:
 - 09.10.2018
 - 01.05.2019
 - 30.09.2019

Die Auswertung der geodätischen Bilanzen ergibt – wie schon im Vorjahr eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit der gemessenen Massenbilanz.

Gegenüberstellung der Massenbilanzen der letzten drei Jahren: glaziologische und geodätische Massenbilanz

Jahr	Bw glaz. [mm we]	Bw geod. [mm we]	Differenz [mm we]	Ba glaz. [mm we]	Ba geod. [mm we]	Differenz [mm we]
2016/17	892	791	-101	-1826	-1822	4
2017/18	1207	1277	70	-1963	-2084	-121
2018/19	1650	1564	-86	-680	-687	-7

- 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 01.+ 02.05.2019 – Winterbilanz am HEF

Ziel der Feldkampagne:

- Messung der Massenrücklage aus der Akkumulationsperiode 2018/19 zur Erstellung der Winterbilanz am Hintereisferner
- Wartung der Wetterstationen im Hinteren Eis und Station Hintereis
- Probennahme für Schneechemieanalyse

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Lilian Schuster – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck
- Sam Williams, Colin Ronald – EMMA Studenten, Universität Innsbruck / Freie Universität Bozen
- Tobias Sauter – Institut für Geographie, FAU Erlangen-Nürnberg
- Lisa Bouvet – Praktikantin, Universität Grenoble
- Simon Schöpf, Robbie Shone – Journalist (SS) und Photograph (RS) zur Recherche für ihren Beitrag in Terra Mater

Ausgeführte Arbeiten:

Massenbilanz und Schneechemie: Aufgrund des kurzen Schönwetterfenster und der Zusatzarbeiten an den Wetterstationen und für die Schneechemieanalyse mussten die üblicherweise vier bis sechs Schneeschächte auf zwei reduziert werden. Dabei wurden die Arbeiten auf jene beiden Schneeschächte konzentriert, in denen Sam W. schon seit Anfang Februar in einem ungefähren Zweiwochenrhythmus für seine Masterarbeit ein Schneeprofil erstellt, hier TE_chem (etwa 200 m östl. TE; dort wurden auch die Schneeproben gezogen) und Pit 1 benannt. Die Höhenerstreckung von ~300 m zwischen den beiden Schächten sollte ausreichen, um einen eventuellen Dichtegradienten zu messen. Die Zusatzinformation zur Stratigraphie in den höher gelegenen Schächten, besonders um den Horizont Ende des Haushaltsjahres 2018 zu bestimmen, ist von geringer Relevanz, da der Sommer 2018 so gut wie keine Akkumulationsrücklagen am Hintereisferner hinterlassen hatte. Das heißt, dass bei allen Schneehöhensondierungen der beprobte Horizont der Eisoberfläche Ende des Haushaltsjahres 2018 entspricht.

Schneehöhensondierungen: 01.05. an der Zunge bis zum Weißkugeljoch; 02.05. zur Langtaufererspitze, am Langtaufererjochferner und zum Hintereisjoch.

Wetterstationen:

- Im Hinteren Eis: Das Metek Niederschlagsradar funktioniert seit einigen Wochen nicht mehr. Nachdem der Mast mühsam von Anraum befreit wurde, ergab die Fehlersuche von Tobias S. und Lilian S. am 01.05., dass es sich um ein Sensorproblem handeln muss. Der Sensor wurde am 02.05. abgebaut, damit er zum Hersteller geschickt werden kann. Bei den Wartungsarbeiten wurde leider verabsäumt, das LAN Kabel der Datenübertragung zur Station Hintereis wieder einzustecken. Die Funktionalität der Wetterstation ist aber dadurch nicht beeinträchtigt, lediglich die automatische Datenübertragung nach Innsbruck.
- Station Hintereis: 01.05.: Die Membran des Schneehöhensensors SR50a war gebrochen. Der Sensor wurde gegen einen gebrauchten (SN: 2873) getauscht, die Membraneinheit komplett erneuert. Dabei wurde der Schneedriftsensor soweit als möglich nach SO gedreht, um mögliche Störungen der Strahlungs- und Schneehöhenmessung zu minimieren. Ablesung Totalisator HEF (18:00 Uhr).
- 02.05. ~07:30-08:00 Uhr: Ein defekter Laderegler der Niederschlagswaage wurde erneuert; das Auffanggefäß (entleert am 31.03.) wieder mit einer Frostschuttlösung befüllt.

Situation:

Beide Tage wolkenlos. Für die Jahreszeit kühl mit ca. -5°C auf 3000 m. Schwach windig. In der Nacht auf 02.05. auflebender Wind aus W, nachmittags beginnender Wolkenaufzug mit einer anrückenden Störung aus W.

Auf Station Hintereis deponiert:

- 1 Dichteset (ohne Gummihammer)
- 1 Lawinenschaufel
- Werkzeugset für Wetterstationen (Rainers Mt. Kenya Werkzeug: Schraubenzieher, Zangen, Nussensatz (bis 13), Imbus, Kabelbinder, Wasserwaage ...)
- 5 l Powercool für Niederschlagswaage
- Frische Geschirrtücher
- Handdesinfektion



Abbildung 21 (links): Schacht P1(L7) am 01.05.2019. Foto: Colin Ronald.

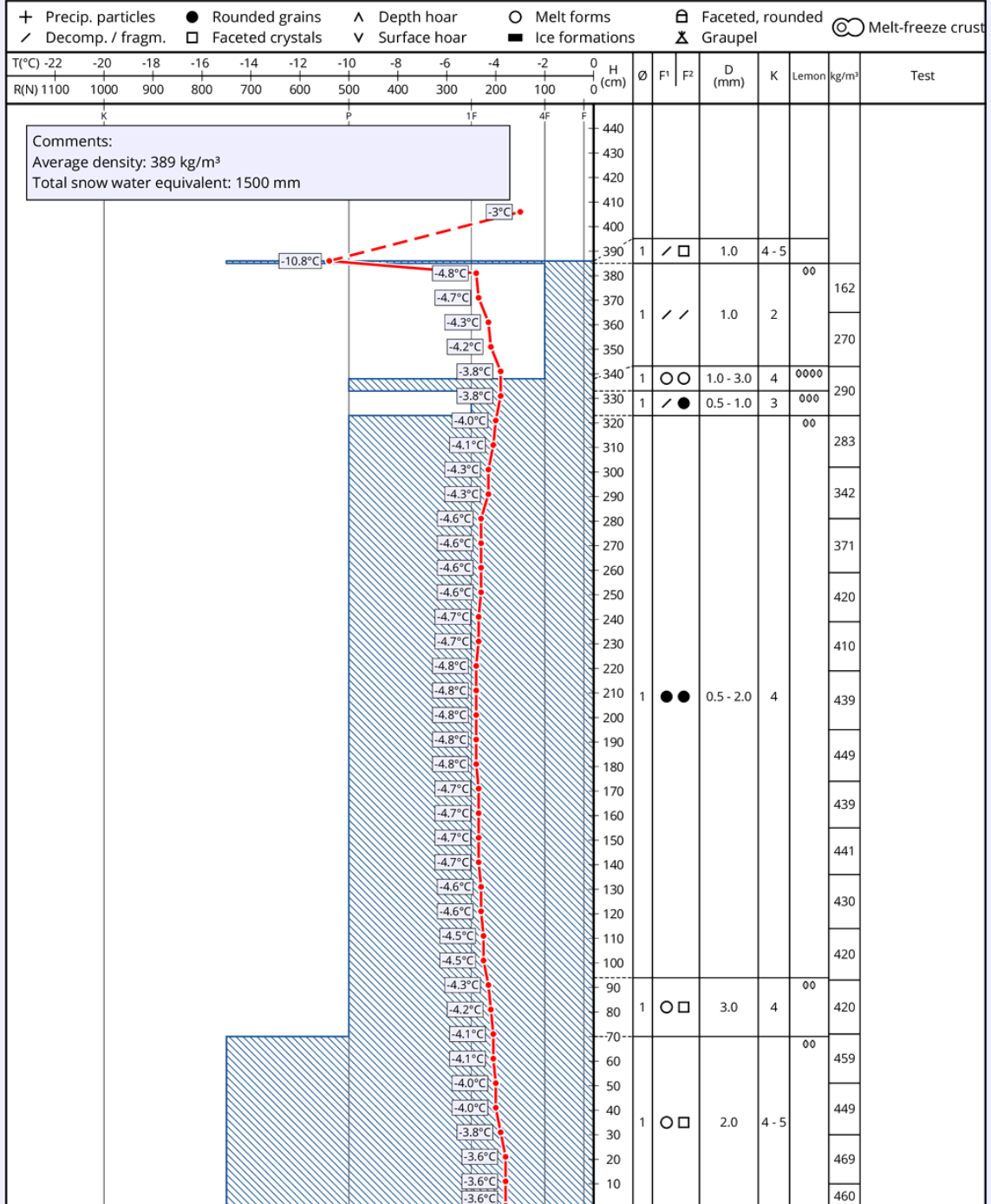
Abbildung 22 (rechts): Tobias Sauter befreit die Wetterstation im Hinteren Eis von Anraum. Foto: Lilian Schuster, 01.05.2019.



Abbildung 23: Unterwegs zur Station Hintereis. Foto: Colin Ronald, 01.05.2019

Snowprofile: TE_chem

Name: HEF WiBi Team	e-mail: rainer.prinz@uibk.ac.at	Observation date: 01. May, 2019 15:00
Location: TE_chem	Elevation: 2932 m	Air temperature: -3°C
Subregion: Gurgler Gruppe	Incline: 5°	Precipitation: No precipitation
Region: Tirol	Aspect: E	Intensity:
Country: Österreich	Wind speed: Gentle (< 20 km/h)	Sky condition: Clear (0/8)
Lat/Long: 46.7926° / 10.7558°	Wind direction: W	Profile-class:



SnoProfiler 0.94 powered by mapyrus

© 2019 LAWIS | Uni-Wien

Abbildung 24: Schneeprofil TE_Chem als Beispiel der Arbeit von Sam Williams.

D.2.2 Feldkampagne 22.-25.07.2019: Gustavus Adolphus College

Ziel der Feldkampagne:

- Exkursionsbegleitung des Gustavus Adolphus College (Minnesota); 1-monatiger Alpenexkursion
- Radiosondenaufstiege
- Wartung/Abbau AWS Hintereisferner
- Wartung AWS Station Hintereis
- Bohren/Ablesen von Ablationspegeln
- LIDAR Pegel

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Jeff LaFreniere – Gustavus Adolphus College (Minnesota) mit 9 Studenten + 1 Betreuungsperson

Ausgeführte Arbeiten:

22.07.: Anmarsch von Rofen über den Hintereisferner und Ablesen einiger Ablationspegel (L9, 41, L8, 50, L7, 87).

23.07.: Demontage der Station Hintereisferner: Der Schneedruck im Winter hat den Querträger verbogen. Die Achse des Anemometers ist verbogen, die restlichen Instrumente (Radiometer, Thermo-Hygrometer, Barometer) sind vermutlich in Ordnung und wurde auf der Station verstaut. Der Schneehöhensensor und der Datenlogger wurden belassen (Tabelle 1). Die Halterung des Schneehöhensensors wurde um 200 cm verkürzt (Sensorhöhe 114 cm bis Schnee (30 cm)).

Radiosondenaufstieg an der AWS Hintereisferner ca. 11:35 Uhr: Grawmet Ausrüstung der Universität Erlangen-Nürnberg; normales Ballongas. Der Ballon wurde samt Sonde an ~100 m Küchenschnur befestigt und mit einer Haspel (Aufwickeln um ein Stück Ablationspegel) nach erfolgtem Aufstieg wieder eingeholt. Luftdruck 737 mbar laut AWS Hintereisferner, Sonde Graw DFM-09 Nr 17064115.

Station Hintereis: FlowCap abgebaut und in Hütte verstaut. Thermo-Hygrometer Sensorspitze gegen jene von der Station Hintereisferner getauscht 13:48 UTC (Tabelle 1).

24.07.: Radiosondenaufstiege analog 23.07. um ~09:40 Uhr und ~11:05.

Bohren und Ablesen weiterer Ablationspegel (L7, 41, p27 je nur 3x2 rot mit Kovacs).

Bohren des ersten LIDAR Pegels bei der AWS Hintereisferner.

Ablesen des Totalisators HEF.

Abmontierte Sensoren der AWS Hintereisferner.

Sensor	Seriennummer	Kalibriert am	Kommentar
Young 05103 Anemometer	?	?	Keine Plakette
CNR4 Radiometer	100151	24.06.2014	SWI: 14,55; SWO: 11,91; LWI 7,43; LWO: 7,73 ($\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$)
PTB 100 Barometer	F1610096	Apr 2010	500-1100 hPa
HMP45c Thermo-Hygrometer	SCSL002278	06.06.2014	Sensorspitze gegen jenen Sensor in Station Hintereis ausgetauscht (SNr. Station Hintereis alt?)

Situation:

Alle Tage waren sehr warm (Hitzewelle) mit wenig Wind und annähernd durchgehend wolkenlos. Am 25. nachmittags einsetzende Schauertätigkeit.

Eine Studentin erlitt am 22. abends (gegen 22:30) am Weg von der Hütte in ihr Zelt einen doppelten Bänderriss im rechten Knöchel. Sie wurde gut versorgt und gelagert und bei allgemein gutem Zustand am 23. abends (20:00 Uhr) per NAH nach Innsbruck mit einer Betreuerin des Kurses ausgeflogen.



Abbildung 25: Jeff La Freniere und seine StudentInnen beim Bohren von Ablationspegeln. Foto: Rainer Prinz, 24.07.2019



Abbildung 26: Eine Radiosonde ~100 m über dem HEF. Foto: Rainer Prinz, 24.07.2019

D.2.3 Feldkampagne 27.+28.08.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Bohren/Ablesen von Ablationspegeln
- Ablesen Totalisator Vent

Teilnehmer:

- Rainer Prinz, Lilian Schuster – ACINN

Ausgeführte Arbeiten:

27.08.: Per Helikopter zuerst Depot des Bohrmaterials am HEF auf ca. 3000 m und dann weiter zum Gipfel der Langtaufferer Spitze. Von dort zu Fuß abwärts zum Ablesen der Pegel und Sondieren der Schneehöhe. Neu gebohrte Pegel: 103, L4, 102 und 71. Beim Bohren von Pegel 26 verstopfte die Bohrlanze derart, dass wir (entgegen des ursprünglichen Plans) zum Hochjochospiz absteigen mussten, um am nächsten Tag mit einer Ersatzbohrlanze weiterarbeiten zu können.

28.08.: Aufgrund der unsicheren Wetterprognose wurde auf ein Bohren von Pegel 26 verzichtet und wir konzentrierten uns die Pegel weiter unten auf der Zunge abzulesen bzw. zu ersetzen. Neu gebohrt: 50, L8, L9.

Ablesung des Totalisators in Vent ca. 17:00 Uhr

Warmes, labiles Sommerwetter mit starker Quellbewölkung ab Mittag und hoher Gewitterneigung besonders am 28.08.



Abbildung 27: Der obere Teil des HEF am 27.08.2019. Foto: Rainer Prinz



Abbildung 28: Nahe dem Zungenendes des HEF bildet sich durch Murtätigkeit eine immer mächtigere Schuttauflage am Eis. Foto: Rainer Prinz, 28.08.2019

D.2.4 Feldkampagne 03.+04.09.2019: KWF

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesen von Ablationspegeln am KWF

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Christoph Klug – Institut für Geographie, Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

03.09.: Aufstieg von Rofen zum Hochjochhospiz

04.09.: Aufsuchen aller Pegelstandorte am KWF und Ablesung der Pegel, bzw. Schneehöhensondierung, wenn die Pegel aufgrund der Altschneedecke nicht sichtbar waren.

Situation:

Warmes, wolkenloses Spätsommerwetter



Abbildung 29: Pegel K19 unterhalb des Fluchtkogels. Foto: Rainer Prinz, 03.09.2019



Abbildung 30: Pegel K13 in einer Spalte. Foto: Rainer Prinz, 03.09.2019

D.2.5 Feldkampagne 24.+27.09.2019: Praktikum ACINN und KWF Abschluss

Ziel der Feldkampagne:

- Glaziologisches Feldpraktikum SS2019
- Ablesen von Ablationspegeln am HEF und KWF
- Bohren der Pegel 3 und 4 am KWF
- Abschlussbegehung KWF
- Gletschersicherheitstraining

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- 7 Studierende des Masterstudiums Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften
- Patrick Ribis – Freeridecenter Stubai, Bergführer

Ausgeführte Arbeiten:

24.09.: Aufstieg von Rofen zum Hochjochhospiz und weiter zum HEF. Dort Ablesung der Pegel L9, 41, L8 und L7.

25.09.: Ablesen der Pegel 5 und 6, sowie Bohren der Pegel 3 und 4. Ablesung des Totalisators am Proviantdepot. Sicherheitstraining.

26.09.: Messung der Neu- und Altschneedichten bei Pegel 12. Sicherheitstraining.

27.09.: Ablesung des Totalisators Hospiz, Abstieg nach Rofen.

Situation:

Ein Wintereinbruch mit Schnee, Sturm, eingeschränkter Sicht und erhöhter Spaltensturzgefahr zwang uns zu deutlichen Abstrichen im Programm. Immerhin gab es am KWF kaum Ablation seit der letzten Begehung am 03.09. und die Septemberschneehöhe war sehr homogen in den Bereichen, die für uns zugänglich waren. Somit kann die Massenbilanz am KWF für 2019 abgeschlossen werden.



Abbildung 31: Studierende des ACINN beim Messen von Schneeschacht P12 am KWF. Foto: Rainer Prinz, 26.09.2019

D.2.6 Feldkampagne 11+12.10.2019: HEF Abschluss

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung und Neubefüllung der Totalisatoren im Rofental
- Ablesen von Ablationspegeln am HEF = Abschlussbegehung HEF

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Christoph Klug – IGI

Ausgeführte Arbeiten:

11.10.: Anfahrt nach Rofen: F. Maussion und W. Gurgiser fliegen zum Tisenjoch zur Wartung der Wetterstation. Danach fliegen R. Prinz und C. Klug die Totalisatoren ab und bleiben nach erledigter Arbeit auf der Station Hintereis für Wartungsarbeiten. Team Tisenjoch wird anschließend nach Rofen gebracht.

12.10.: Ablesen aller Pegel entlang unterhalb L3, Abstieg nach Rofen.

Situation:

Nach Wintereinbruch kurze Schönwetterphase. Die Spalten sind nur gering mit Neuschnee überdeckt, daher ist ein Arbeiten im Akkumulationsgebiet nicht möglich. Die Bilder der Webcam zeigen, dass der Schnee von September fast zur Gänze an der Zunge geschmolzen ist. Die Schneehöhe von dieser Begehung ist also bereits Akkumulation des nächsten HHJ 2019/20.



Abbildung 32: Bei Pegel 38 beginnt sich ein Einsturztrichter abzuzeichnen. Foto: Rainer Prinz, 12.10.2019.

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 intensiven Niederschlagsmessungen. Seit 1905 werden monatliche Niederschlagssummen in Vent (1.890 m a.s.l.) aufgezeichnet. 6 Totalisatoren werden bis heute jeweils am 1.4., 1.6., 1.8. und 1.10 abgelesen und mit den Niederschlagsdaten von Vent auf monatliche Niederschlagssummen umgerechnet. Die Totalisatoren Hochjochospitz, Proviantdepot, Rofenberg und Station Hintereis (HEF) wurden 1952 aufgebaut, die Totalisatoren Vernagtbrücke und Latschbloder im Jahr 1965

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

Die Winterbefüllung der RM (Salz und Öl) erfolgte am 11.10.2019 mit der üblichen Mischung (5,8 kg Salz in 8 l Wasser aufgelöst) und der Zugabe von 0,5 l Paraffinöl befüllt.

Um die Sicherheit zu gewährleisten sollten die Regenmesser im nächsten Sommer unbedingt einer generellen Wartung unterzogen werden.

Folgende Mängel sollten behoben werden:

RM in Vent ist sehr schief und sinkt immer weiter ein

RM Proviantdepot und Hochjochospitz: Wartung der Tritte notwendig, teilweise fehlen Stufen.

Windschutz bei RM Hochjochospitz ist eingerissen

Tabelle 14: Ablesetabelle der RM im Rofental 2018/19.

Datum	Ausgeführte Arbeit	Personen	VB	PD	Hospiz	HEF	RB	LB	Vent
06.11.2018	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori	-	-	-	-	-	-	+
03.12.2018	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori	-	-	-	-	-	-	+
02.01.2019	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori	-	-	-	-	-	-	+
01.02.2019	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori	-	-	-	-	-	-	+
04.03.2019	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori, Rainer Prinz	-	-	-	-	-	-	+
30.03.-01.04.2019	RM Runde	Rainer Prinz, Sam Williams (30.+31.)	+	+	+	+	+	+	+
30.04.2019	Wartung/Ablesung Vent	Philipp Vettori, Rainer Diewald	-	-	-	-	-	-	+
06.-08.06.2019	RM Runde	Rainer Prinz	-	+	+	-	-	+	+
04.07.2019	Wartung/Ablesung Vent	Rainer Prinz, Lisa Bouvet	-	-	-	+	-	-	+
24.07.2019	GAC Feldwoche	Rainer Prinz	-	-	-	+	-	-	-
05.+06.08.2019	RM Runde	Rainer Prinz	+	+	+	-	+	+	+
28.08.2019	Wartung/Ablesung Vent	Rainer Prinz, Lilian Schuster	-	-	-	-	-	-	+
25.+27.09.2019	Exkursion	Rainer Prinz	-	+	+	-	-	-	-
03.10.2019	Wartung/Ablesung Vent	Rainer Prinz, Brigitta Goger	-	-	-	-	-	-	+
11.10.2019	RM Runde und Befüllung	Rainer Prinz, Christoph Klug	+	+	+	+	+	+	-

D.3.2 Feldkampagne 30.-31.03.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung der Totalisatoren im Rofental
- Kontrolle der Wetterstation und des Containers im Hinteren Eis
- Schneemessungen am HEF

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck
- Sam Williams – EMMA Student, Universität Innsbruck / Freie Universität Bozen (Masterstudent von Lindsey Nicholson)

Ausgeführte Arbeiten:

- Fenster im Container iHE lassen sich einwandfrei öffnen. Kein Verbindungsaufbau zum Niederschlagsradar möglich. LAN Buchse am Mast getauscht (von 4 auf 2). Aus Zeitgründen keine weiteren Maßnahmen.
- Ablesung der Totalisatoren Latschbloder, Rofenberg, Station Hintereis (30.03.) sowie Hospiz und Proviantdepot (31.03.): alle Totalisatoren waren annähernd voll und wurden daher bis ca. 1/3 des Volumens entleert. RM Rofenberg mit Eispfropfen.
- AWS Station Hintereis: funktioniert. Die Wetterhütte muss repariert werden. Der Schneedriftsensor ist etwas unglücklich unter dem Radiometer und der Schneehöhenmessung montiert. Beide Sensoren sind aber am Standort wenig aussagekräftig (kaum bis nie Schnee, daher auch reflektierte/emittierte Strahlung nicht repräsentativ). Topf der Niederschlagswaage wurde entleert, aber nicht mit Frostschutz befüllt, da entgegen der Meinung von P. Vettori kein Frostschutz mehr auf der Station war.
- Je ein Schneeprofil (ca. 1,5 m) an der oberen und der unteren Zunge aufgenommen (Stratigraphie, Härte, Kornform, Korngröße, Dichte).
- 25 Schneehöhensondierungen am HEF (~<3000 m)
- Fotodokumentation

Aufstieg am 30.03. gegen 09:00 von Kurzras mit Liftunterstützung ins Hintere Eis. Kontrolle der Station. SW direkt zum Gletscher, RP über Latschbloder und über den Rofenberg zum HEF, dort gemeinsames Schneeprofil dann zur Station Hintereis (Nächtigung). Am 31.03. Abfahrt zum Hospiz, Aufstieg zum Proviantdepot, zurück zum Hospiz und via Hochjoch nach Kurzras (ca. 15:00).

Situation:

30.03.: wolkenlos, windschwach, frühlingshaft warm, Rofenberg N-Seite ausgeblasen dort auch bescheidene Schneequalität.

31.03.: wie 30.03.; nach sehr trockener, wolkenloser Nacht Schneeoberflächentemperatur <-15°C



Abbildung 33: Der HEF vom Proviantdepot. Foto: Rainer Prinz, 31.03.2019.

D.3.3 Feldkampagne 01.04.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung der Totalisatoren Vent und Vernagtbrücke
- Kontrolle der Wetterstation Vent

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

- Ablesung der Totalisatoren Vernagtbrücke und Vent. Beide Totalisatoren waren annähernd voll und wurden daher bis ca 1/3 des Volumens entleert.
- AWS Station Vent: funktioniert einwandfrei.

- Grundbesitzer der Station Vent zufällig getroffen. Wollte seinen Namen nicht nennen aber dafür den Namen der offiziellen Besitzerin: Daniela Walder, Haus Soldanella: Beide AWS stehen auf ihrem Grund. Abbau AWS Vent alt im Laufe des Sommers vereinbart.
- Fotodokumentation

Aufstieg am gegen 08:15 von Rofen zur Vernagtbrücke. Selber Weg retour (ca. 11:30).

Situation:

Wolkenlos, kühler Talwind, frühlingshaft. Sublimationsmuster an der Schneeoberfläche.



Abbildung 34: Suncups und Micropenitentes an der Vernagtbrücke aufgrund der trockenen Witterung mit viel Einstrahlung untermags und effektiver Ausstrahlung nachts. Foto: Rainer Prinz, 01.04.2019.

D.3.4 Feldkampagne 06.+07.06.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung der Totalisatoren Latschbloder, Hintereisferner und Rofenberg
- Kontrolle der Wetterstation Im Hinteren Eis
- Kontrolle der Wetterstation am Tisenjoch

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

- Kontrolle der Wetterstation Im Hinteren Eis, Wiederherstellung der Datenverbindung zur Station Hintereis
- Ablesung des Totalisators Rofenberg
- Ablesung der weiteren Totalisatoren aufgrund von Lawinengefahr abgebrochen
- Fotodokumentation

Auffahrt um 07:00 mit den Arbeitern der Gletscherbahn von Kurzras zum Gletschersee, zu Fuß dann weiter durch bereits durchnässten Schnee und Nebel zum Hinteren Eis, Latschbloder und – samt einiger von mir ausgelösten Lawinen (Größe 1 und 2) – zurück zur Schönen Aussicht. Am nächsten Morgen bot sich das gleiche Bild: aufgrund von nächtlicher Bewölkung kein Wiedergefrieren der Schneedecke und durch Nebel eingeschränkte Sichtverhältnisse. Deshalb Abfahrt nach Kurzras (ca. 10 Uhr).

Situation:

Bedeckt bis stark bewölkt (6/8 – 8/8), mäßiger bis starker Südwind (Föhn). Gewittrige Schauer am 05. und 06. abends. Nullgradgrenze ca. 3200 m



Abbildung 35: Ein kurzer Moment mit guter Sicht zum Latschbloder. Für Anfang Juni liegt noch sehr viel Schnee. Foto: Rainer Prinz, 06.06.2019.

D.3.5 Feldkampagne 08.06.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung der Totalisatoren Vent, Hospiz und Proviantdepot

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

- Ablesung der Totalisatoren Vent, Hospiz und Proviantdepot
- Fotodokumentation

Aufstieg gegen 08:15 von Rofen zum Hochjochhospiz. Am Weiterweg zum Proviantdepot waren ab ca. 2600 m Schneeschuhe angenehme Unterstützung. Aufgrund der Schneesituation und der Lawinengefahr war eine Ablesung des Totalisators Vernagtbrücke nicht durchführbar.

Situation:

Bewölkung 2/8 - 3/8, Kammlagen meist in Wolken, mäßiger bis starker Südwind (Föhn). Nullgradgrenze ca. 3200 m



Abbildung 36: Blick vom Proviantdepot zum noch tief verschneiten HEF. Foto: Rainer Prinz, 08.06.2019.

D.3.6 Feldkampagne 04.07.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Tausch der Pluviometer Vent gegen Station Hintereis.
- Wartung AWS Station Hintereis
- Versorgung Station Hintereis mit Material und Vorräten für die Exkursion des Gustavus Adolphus College (22.-25.07.2019)
- Messungen von Schneedichte und -höhe am HEF von Sam und Colin

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – ACINN
- Lisa Bouvet – Praktikantin, Universität Grenoble
- Sam Williams, Colin Ronald – EMMA Studenten, Universität Innsbruck / Freie Universität Bozen

Ausgeführte Arbeiten:

- Ausgangslage: Bei der Installation der Pluviometer (Ott Pluvio2) in Vent und an der Station Hintereis (2015 und 2016) wurden die Pluviometer unglücklicherweise vertauscht, sodass der Pluviometer mit dem kleineren Auffanggefäß an der Station Hintereis montiert wurde. Infolgedessen kam es immer im Laufe des Winters zu Unterbrechungen der Messung, da das

Auffanggefäß voll wurde und eine Entleerung nur unter großen Umständen oder gar nicht durchführbar war. Es mussten also die Niederschlagswaagen in Vent und an der Station Hintereis gegenseitig ausgetauscht werden. Zusätzlich funktionierte die Niederschlagswaage an der Station Hintereis nicht mehr seit am 16.02.2019 ein Schneedriftsensor angeschlossen und ein neues Datenloggerprogramm gestartet wurde.

- Vent: Pluviometer entleert, abgesteckt, gesichert und abmontiert. Danach Auffahrt nach Rofen zum Landeplatz und Vorbereitung des Bigbags zum Materialflug. Wetterbedingte Verzögerung des Hubschraubers (11:30 statt 09:00). Zusage des Grundbesitzers der alten Wetterstation, dass sie die Fundamente selbst entfernen werden.
- Station Hintereis: Sam und Colin am HEF (TE_chem) abgesetzt, Lisa und Rainer an der Station Hintereis. Material mit 2. Rotation. Pluviometer entleert, abgesteckt, gesichert und abmontiert. Pluviometer (aus Vent) montiert, angesteckt und mit etwas Flüssigkeit (die vorher bereits im Topf war) aufgefüllt. Datenlogger an der AWS ausgelesen, Speicherkarte formatiert, Schneedriftsensor abgeklemmt, Abschlüsse kontrolliert und bisheriges Loggerprogramm (HEF_program_pluvio_20180907.cr3) gestartet. Warum auch immer funktioniert dieses Loggerprogramm aber nicht. Verbringung aller Lebensmittel in der Station. Abtransport mit Hubschrauber gegen 14:00. Sam und Colin steigen nach erfolgten Messungen zu Fuß ab.
- Vent: Pluviometer (von der Station Hintereis) montiert, angesteckt und mit etwas Flüssigkeit (die vorher bereits im Topf war) aufgefüllt. System funktioniert. Regenmesser abgelesen.

Situation:

Anfangs bewölkt, später annähernd wolkenlos, wenig Wind, sommerlich warm.

Während des Wartens auf die Ankunft der Rotation mit unserem Material an der Station Hintereis rutsche Lisa an einem Felsen (neben der alten Wasserheizung) unglücklich aus und schlug mit der linken Wange an einem gegenüberliegenden Felsen auf. Nach kurzer Benommenheit klagte sie über Schmerzen in der linken Gesichtshälfte. Maßnahmen: 30 Minuten Liegen mit leicht erhöhtem Oberkörper und Kühlen des Gesichtes mit Schnee. Im Laufe des kurzen Aufenthaltes an der Station Hintereis ließen die Schmerzen nach, ein Hämatom an der Wange war sichtbar. Laut eigener Aussage war die Verletzung schnell abgeheilt.

D.3.7 Feldkampagne 05.+06.08.2019

Ziel der Feldkampagne:

- Ablesung aller Totalisatoren im Rofental (außer HEF – siehe 24.07.2019)
- Messung der Höhe der Totalisatoren (Arbeitssicherheit)
- Kontrolle der Wetterstationen Im Hinteren Eis und Vent

Teilnehmer:

- Rainer Prinz – Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften, Universität Innsbruck

Ausgeführte Arbeiten:

- 05.08.: Anmarsch über Rofen zum Latschbloder und zur Bergstation Hintereislift. Einschalten des FI. Weiter zur Station Im Hinteren Eis. Unterwegs Kartieren der Schächte und jener Stellen, wo das Stromkabel sichtbar ist.
- Station Im Hinteren Eis: Einschalten der Mastersicherung am Mast. Lüfter fangen sofort an zu laufen – Station hat jetzt wieder Strom. Auch der Container hat Strom und ist wieder online, Webcam1 schickt wieder Bilder. Webcam2 hat wohl einen Platinenschaden. Erkundung eines möglichen Aufstellungsortes der Niederschlagswaage, siehe Fotos.
- Über die Rofenbergköpfe weiter zum Totalisator Rofenberg (zu kurzer Schlauch zum Aussaugen...) und zum Hochjochospiz. Kontrolle des Dampfbohrers , einwandfrei.
- 06.08.: Ablesung der Totalisatoren Hospiz (zu kurzer Schlauch zum Aussaugen...), Proviantdepot, Vernaghütte und Vent.

Situation:

Am 05. anfangs bedeckt bis stark bewölkt (6/8 – 8/8), im Tagesverlauf auflockernd, kühl mit mäßigem Westwind. Am 06. bedeckt und Nebel ab mittags Regen.



Abbildung 37: Blick vom Hinteren Eis zum HEF. Foto: Rainer Prinz, 05.08.2019.