

LANGENFERNER

MASSENHAUSHALTSTUDIEN

Jahresbericht 2017/18

Stephan Peter Galos, PhD



S. Galos beim Einsammeln der Überreste von Pegel 25/11 (H. Tussetschläger, 22.08.2018).

LANGENFERNER

MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Jahresbericht 2017/18

Projektrealisation, Analysen und Bericht:

Mag. Stephan P. Galos, PhD
Gries 13, 6161 Natters, Österreich
E-mail: stephan.galos@gmx.at
Tel.: +43 650 2748013

Im Auftrag von:

Agentur für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol
/Hydrographisches Amt
Drususallee 116, 39100 Bozen, Italien
E-mail: hydro@provinz.bz.it
Tel.: +39 0471 41 47 40
Fax: +39 0471 41 47 79

Finanziert durch:

EFRE – Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
Interreg V-A Italia-Österreich 2014-2020
Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol
ITAT2025 - GLISTT

Übersetzungen ins Italienische:

Federico Covi, M.Sc.
Geophysical Institute
University of Alaska - Fairbanks, USA

Natters, Oktober 2018

Kurzfassung

Der Langenferner (Vedretta Lunga, WGMS-ID: 661) liegt am Talschluss des Martelltales (46,47°N|10,61°E) in der Ortler-Cevedale Gruppe, Autonome Provinz Bozen / Südtirol, Italien.

Der Gletscher bedeckt eine Fläche von rund 1,6 km² und erstreckt sich von einer Höhe von 3370 m bis auf rund 2711 m an seinem tiefsten Punkt (Jahr 2013). Während der obere Bereich des Gletschers hauptsächlich nach Norden exponiert ist, weist die Zunge des Gletschers nach Osten.

Seit dem hydrologischen Haushaltsjahr 2003/04 werden am Langenferner Untersuchungen zur Bestimmung des Massenhaushalts durchgeführt. Die Messungen umfassen die Jahres- und die Winterbilanz des Gletschers und folgen der Methode mit fixem Datum. Die Sommerbilanz wird als Residuum der Jahres- und der Winterbilanz errechnet. Der vorliegende Bericht beschreibt die Messungen, Auswertungen und Ergebnisse im Haushaltsjahr 2017/18.

Zur Messung der Winterbilanz wurden am 5. Mai 2018 drei Schächte zur Bestimmung der Schneedichte angelegt und 93 Schneehöhensondierungen durchgeführt. Die Auswertungen zur Jahresbilanz basieren auf Messungen an 28 Ablationspegeln und drei Schneeschächten zur Bestimmung der Akkumulation im obersten Gletscherbereich. Die entsprechenden Messungen wurden am 4. Oktober 2018 durchgeführt.

Die topographischen Grundlagen der Massenbilanzanalysen stammen von einem hochaufgelösten digitalen Geländemodell aus einem Laserscan-Flug am 22. September 2013.

Die Analysen zeigen eine etwa durchschnittliche **Winterbilanz** von **+970 kg/m²**. Nach dem eher schneereichen Hochwinter folgte ein extrem warmes Frühjahr und so setzte zeitweise bereits im April die Schneeschmelze bis in hohe Regionen ein. Die weit überdurchschnittlich warme Witterung setzte sich nahezu ununterbrochen bis Ende August fort, als die ersten nennenswerten Schneefälle seit Mitte Mai endlich für eine Abschwächung der Massenverluste sorgten. Die **Jahresbilanz** ist mit **-2534 kg/m²** die mit Abstand negativste Jahresbilanz seit Beginn der Messungen am Langenferner. Als Resultat des wärmsten Sommerhalbjahrs seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen ist sie damit um nahezu 500 kg/m² negativer als der bisherige Negativrekord aus dem Jahr 2017 und vermutlich auch negativer als die Massenbilanz des Jahres 2003 für das am Langenferner allerdings noch keine Messungen vorliegen.

Die Akkumulationsfläche am Ende des Haushaltsjahres 2017/18 machte etwa ein Prozent der gesamten Gletscherfläche aus. Die Gleichgewichtshöhe (ELA) lag über den höchsten Regionen des Langenfernens.

Abstract

Langenferner (Vedretta Lunga, WGMS-ID: 661) is located at the head of Martell-Valley (46,47°N|10,61°E) in the Ortles-Cevedale Group, Autonomous Province of Bolzano, Italy. The glacier covers an area of 1.6 km² and extends from 3370 m down to 2711 m (year 2013). While the upper glacier part is exposed to the North, the lower part faces east.

Mass balance measurements have been carried out at Langenferner since the hydrological year 2003/04. These measurements comprise both the winter and the annual mass balance of the glacier and follow the fixed date direct glaciological method.

Topographic data for the mass balance analyses originate from a high resolution digital terrain model resulting from an airborne laser-scanning campaign on September 22nd, 2013.

To measure the winter mass balance three snow density pits were dug on May 5th, 2018 accompanied by 93 snow depth probings to determine the spatial snow thickness distribution. Analyses of the annual mass balance are based on measurements at 28 ablation stakes well distributed over the glacier and three snow pits in the uppermost part. Respective measurements were performed on October 4th, 2018.

Results show a **winter balance** of **+970 kg/m²** which is close to the long term average. After a rather humid winter, the extremely warm April lead to the onset of snow melt even in very high regions. The warm weather conditions with air temperatures wide above the long term average persisted with hardly any interruptions until the end of August when the first significant snowfall since the mid of May finally slowed down the rate of glacier mass loss. The **annual mass balance** of **-2534 kg/m²** is by far the most negative one since the beginning of measurements in 2004. It is a result of the warmest summer season (April – September) since the beginning of meteorological records and is by almost 500 kg/m² more negative than the mass balance of 2017 which so far was the most negative ever measured. Presumably the mass balance of 2018 is even more negative than the one of the so called “hundred year summer” of 2003 for which no measurements are available at Langenferner.

The accumulation area at the end of the hydrological year 2017/18 amounted to a fraction of about one percent of the total glacier area and the equilibrium line altitude was above the highest point of Langenferner.

Sommario

Il ghiacciaio della Vedretta Lunga (Langenferner, WGMS-ID: 661) è situato alla fine della Val Martello (46,47°N|10,61°E) nel gruppo dell'Ortles-Cevedale, nella Provincia Autonoma di Bolzano, Italia. Il ghiacciaio copre un'area di circa 1.6 km² con un'altitudine che si estende dai 3370 m ai 2711 m (anno 2013). La parte superiore del ghiacciaio è esposta a nord mentre la parte inferiore ad est.

Il monitoraggio del ghiacciaio della Vedretta Lunga viene effettuato annualmente a partire dall'anno idrologico 2003/04. Il bilancio di massa annuale ed invernale, è stato determinato applicando il metodo glaciologico diretto a date fisse.

I dati topografici usati nell'analisi del bilancio di massa sono ottenuti da un modello digitale di elevazione ad alta risoluzione, frutto di una campagna di scansione laser aerea avvenuta il 22 Settembre 2013.

Il bilancio invernale di massa è stato calcolato mediante l'utilizzo di tre profili di densità e 93 sondaggi del manto nevoso, per determinarne la distribuzione spaziale. I rilievi invernali sono avvenuti il 5 Maggio 2018. Le analisi del bilancio annuale di massa sono basate sulla lettura di 28 paline ablatometriche strategicamente distribuite sul ghiacciaio e su tre profili del manto nevoso raccolti nella parte superiore del ghiacciaio. I rilievi estivi sono avvenuti il 4 Ottobre 2018.

Il **bilancio invernale di massa** di **+970 kg/m²** è in linea con la media a lungo termine. Dopo un inverno piuttosto umido, un Aprile estremamente caldo ha dato inizio al periodo di fusione, anche nelle porzioni di ghiacciaio ad alta quota. Temperature ampiamente sopra la media a lungo termine sono state registrate fino alla fine di Agosto, quando la prima nevicata significativa dalla metà di Maggio ha rallentato la fusione del ghiacciaio. Il **bilancio annuale di massa** di **-2534 kg/m²** è nettamente il più negativo dal 2004, anno in cui sono iniziate le attività di monitoraggio. E' il risultato dell'estate (Aprile - Settembre) più calda dall'inizio delle misurazioni meteorologiche ed è di 500 kg/m² più negativo del bilancio annuale di massa del 2017, il più negativo registrato fino ad ora. Il bilancio annuale di massa del 2018 è probabilmente addirittura più negativo di quello del 2003, anno precedente all'inizio del monitoraggio della Vedretta Lunga, da molti considerato l'estate più calda del secolo.

L'area di accumulazione alla fine dell'anno idrologico 2017/18 è pari a circa l'1% dell'area totale del ghiacciaio e l'altitudine della linea di equilibrio è a quote superiori dell'intero ghiacciaio della Vedretta Lunga.

LANGENFERNER

MASSENHAUSHALTSSTUDIEN

Abschlussbericht über das Haushaltsjahr 2017/18

Inhaltsverzeichnis:

Kurzfassung.....	iii
Abstract.....	iv
Sommario.....	v
1 Das Untersuchungsgebiet.....	1
1.1 Der Langenferner.....	1
1.2 Klima.....	1
2 Methoden und Daten.....	3
2.1 Die Methodik der Massenbilanzbestimmung am Langenferner.....	3
2.2 Das glaziologische Messnetz am Langenferner.....	4
2.3 Auswertung der direkten Messungen.....	7
2.4 Topographische Grundlagen.....	8
3 Analysen und Ergebnisse.....	9
3.1 Der Witterungsverlauf im Haushaltsjahr 2017/18.....	9
3.2 Die Winterbilanz 2017/18.....	10
3.3 Die Jahresbilanz 2017/18.....	14

4 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	20
5 Dokumentation der Feldarbeiten 2017/18.....	23
5.1 Die Messungen zur Winterbilanz am 05.05.2018.....	24
5.2 Erste Sommerbegehung vom 10. bis 12.07.2018.....	32
5.3 Zweite Sommerbegehung am 22.08.2018.....	36
5.4 Dritte Sommerbegehung (Abschlussbegehung) am 04.10.2018.....	44
6 Tabellen und Messwerte.....	50
6.1 Die Schächte zur Winterbilanz 2017/18.....	51
6.2 Die Schneehöhensondierungen zur Winterbilanz 2017/18.....	52
6.3 Protokolle der Pegelablesungen im Haushaltsjahr 2017/18.....	54
6.4 Die Schneeschächte vom 04.10.2018.....	57
7 Literatur.....	58

1 Das Untersuchungsgebiet

1.1 Der Langenferner

Der Langenferner ist ein kleiner Talgletscher am Talschluss des Martelltales in der Südtiroler Ortlergruppe (46,46°N|10,61°O). Der Gletscher ist Teil der großen zusammenhängenden Gletscherfläche am Cevedale-Massiv welche neben dem Langenferner noch Fürkele- und Zufallferner, Vedretta de la Mare und Vedretta di Cedec umfasst. Der höchste Punkt des Langenfernens ist über die Eisscheide zwischen Zufallferner und Vedretta di Cedec definiert. Also als der höchste Punkt von welchem das Eis in das Talbecken zwischen Suldenspitze und Drei Kanonen abfließt. In der Realität ist dieser Punkt schwierig zu bestimmen, da die exakte räumliche Verteilung des Eisflusses kaum messbar ist. Außerdem ist diese auch zeitlichen Änderungen unterworfen. Als Annäherung für die Richtung des Eisflusses und damit für die Bestimmung der Gletschergrenzen in den obersten Regionen am Langenferner dient die Neigung/Exposition der Eisoberfläche, welche früher aus Stereo-Orthophotos und in jüngerer Zeit (seit 2005) auch aus hochaufgelösten Laserscan-Geländemodellen abgeleitet wird. Aktuell erstreckt sich der Langenferner von einer Höhe von ca. 3370 m bis auf etwa 2711 m (2013) an seiner untersten Zunge und deckt somit eine Höhendifferenz von rund 660 m ab. Die vergletscherte Fläche beträgt nach Auswertungen einer luftgestützten Laserscanvermessung vom 22. September 2013 etwa 1,60 km².

Seit dem Jahre 2004 sind die Massenänderungen am Langenferner Inhalt intensiver glaziologischer Untersuchungen welche vom Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften (bis 2011 vom Institut für Geographie) der Universität Innsbruck im Auftrag (und in Zusammenarbeit mit) der Agentur für Zivilschutz / Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen / Südtirol durchgeführt wurden. Ab dem Haushaltsjahr 2017/18 werden die Messungen über das Interreg-V Projekt GLISTT finanziert, welches von der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit EURAC-research und dem Amt für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol durchgeführt wird. Im Rahmen dieses Projektes erfolgt die Abwicklung der Bilanzmessungen am Langenferner direkt durch Stephan P. Galos, welcher das Messprogramm bereits seit dem Jahre 2009 koordiniert.

1.2 Klima

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Südtiroler Vinschgau. Dieser zählt zu den trockensten Gebieten des gesamten Alpenraumes. Die inneralpine Lage und die damit verbundene Abschattung von orographischen Stauniederschlägen aus Westen und Norden durch hohe Gebirgsgruppen in der Umgebung (Bernina, Sesvenna, Ötztaler Alpen, etc.) bedingen am Talboden jährliche Niederschlags-

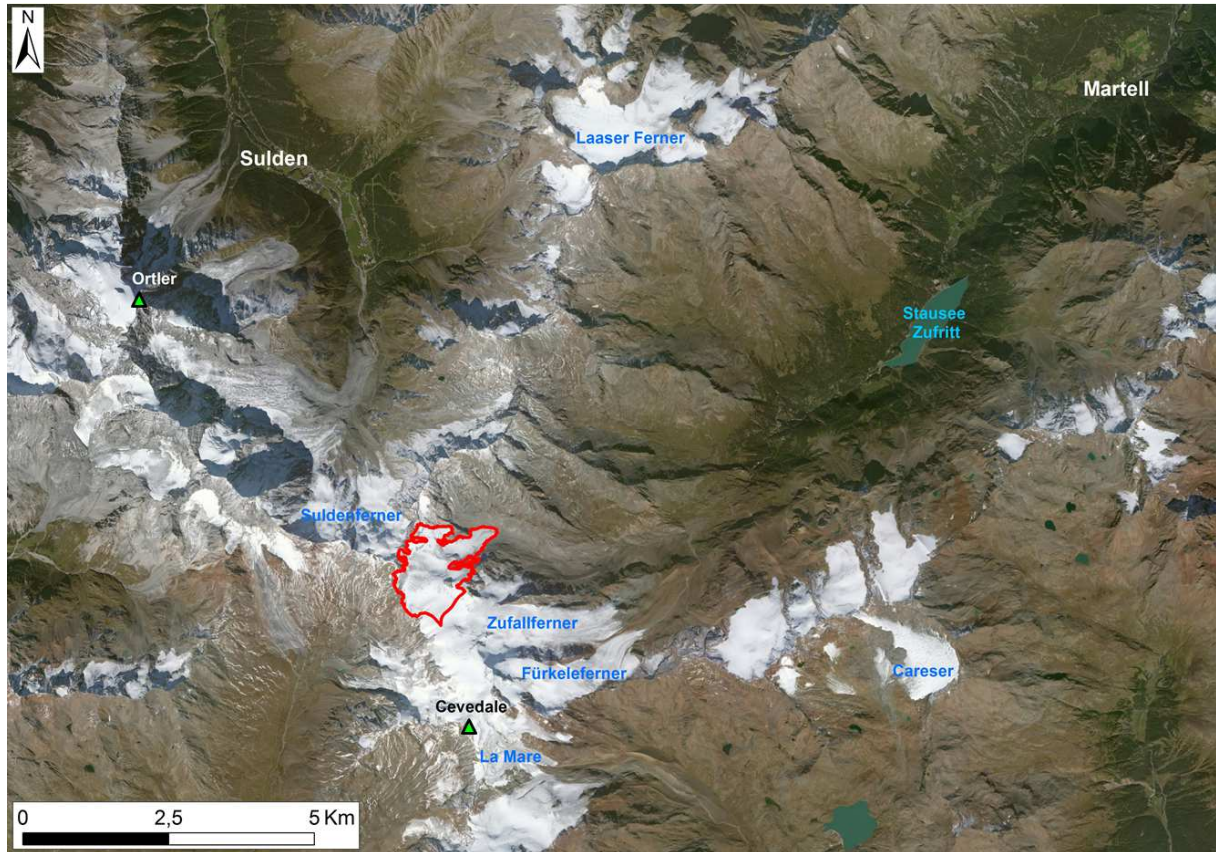


Abb.1: Übersichtskarte zur Lage des Untersuchungsgebietes. Rot umrandet der Langenferner. (Eigene Bearbeitung des Orthophotos 2012 von Bing Imagery/Digital Globe).

raten von rund 500 l/m² oder gar weniger. Am Stausee Zufritt im Martelltal betragen die mittleren jährlichen Niederschlagssummen auf einer Höhe von 1851 m a.s.l. etwa 800 l/m². Ein großer Teil des Niederschlages fällt während der Sommermonate durch das häufigere Auftreten von konvektiven Ereignissen, während die größten Einzelereignisse häufig in den Herbstmonaten verzeichnet werden. Letztere stehen meist im Zusammenhang mit südwestlicher Anströmung durch Mittelmeertiefs. Temperatur und Sonnenstrahlung sind verglichen mit Gebieten selber Höhenlage am Alpenrand dementsprechend relativ hoch. Die genannten klimatischen Merkmale führen dazu, dass die Gletscher der Region erst in relativ großen Höhen anzutreffen sind.

Die Auswertung von Daten der Wetterstationen Sulden - Madritsch (2825 m a.s.l.) und Sulden - Schöntaufspitze (3325 m a.s.l.), beide Stationen werden vom Amt für Zivilschutz der Autonomen Provinz Südtirol betrieben, führt für die Periode 2004 bis 2013 zu einer Jahresmitteltemperatur von etwa -3,5 ° auf einer Höhe von 3000 m a.s.l.. Der wärmste Monat ist auf dieser Höhe mit einer durchschnittlichen Temperatur von etwa +4,7°C (ebenfalls bezogen auf die Periode 2004 bis 2013) der Juli, der kälteste Monat ist der Februar mit einer Durchschnittstemperatur von etwa -11,8°C. Der mittlere Temperaturgradient zwischen den beiden genannten Stationen beträgt rund -0,76°C/100 m.

2 Methoden und Daten

2.1 Die Methodik der Massenbilanzbestimmung am Langenferner

Die Bestimmung des Massenhaushaltes am Langenferner erfolgt unter Anwendung der direkten glaziologischen Methode (z.B. Hoinkes, 1970; Cogley et al., 2011). Die Ablation (Massenverlust) des Gletschers wird mit Hilfe von ins Eis eingebohrten Pegelstangen gemessen. Die Messung der Akkumulation (Massengewinn) erfolgt einerseits über Schneeschächte in denen die Dichte des angesammelten Schnees bestimmt wird, andererseits über Sondierungen der Schneehöhe welche Aufschluss über die flächenhafte Verteilung der Akkumulation geben. Die Messungen am Langenferner umfassen sowohl die Winterbilanz (1. Oktober bis 30. April des Folgejahres) als auch die Massenbilanz über das gesamte hydrologische Haushaltsjahr vom 1. Oktober bis zum 30. September des Folgejahres. Zusätzlich wird die Sommerbilanz als Differenz zwischen Winterbilanz und Jahresbilanz berechnet.

Die Messungen zur Jahresbilanz am Langenferner folgen der „Fixed Date“-Methode. Dies bedeutet, dass die Messungen möglichst am Ende des hydrologischen Haushaltsjahres erfolgen beziehungsweise - sollte dies nicht möglich sein - eine entsprechende Korrektur der Messdaten vollzogen wird, sodass eine Bestimmung der Massenbilanz über den Zeitraum des hydrologischen Jahres erfolgen kann (Galos et al., 2015; 2017). Zur laufenden Kontrolle des Messnetzes und zur höheren zeitlichen Auflösung der beobachteten Änderungen am Gletscher erfolgen während der Ablationsperiode zusätzliche Begehungen.

Die Winterbilanz am Langenferner wurde bis inklusive 2014/15 nach der „Floating Date“-Methode erstellt. Dies bedeutet, dass die Massenänderungen zwischen Beginn des Haushaltsjahres am 1. Oktober des Vorjahres bis zum Datum der jeweiligen Messungen im Mai analysiert werden. In allen Analysejahren seit Beginn der Messungen im hydrologischen Haushaltsjahr 2003/04, erfolgten die entsprechenden Messungen jeweils zwischen dem 2. und dem 18. Mai. Im Rahmen einer Re-Analyse der Ergebnisse früherer Haushaltsjahre durch Galos et al. (2017) wurden die Winterbilanzen der Periode 2004 bis 2013 unter anderem auf die Fixed-Date Periode umgerechnet. Die Analysen für die Bilanzen seit dem Jahre 2014 und somit auch die vorliegende Winterbilanz 2017/18 wurden von vornherein nach der Fixed-Date Methode ausgeführt.

Weitere detaillierte Beschreibungen zum Messprogramm am Langenferner und dessen zeitlichen Veränderungen finden sich bei Galos et al. (2017).

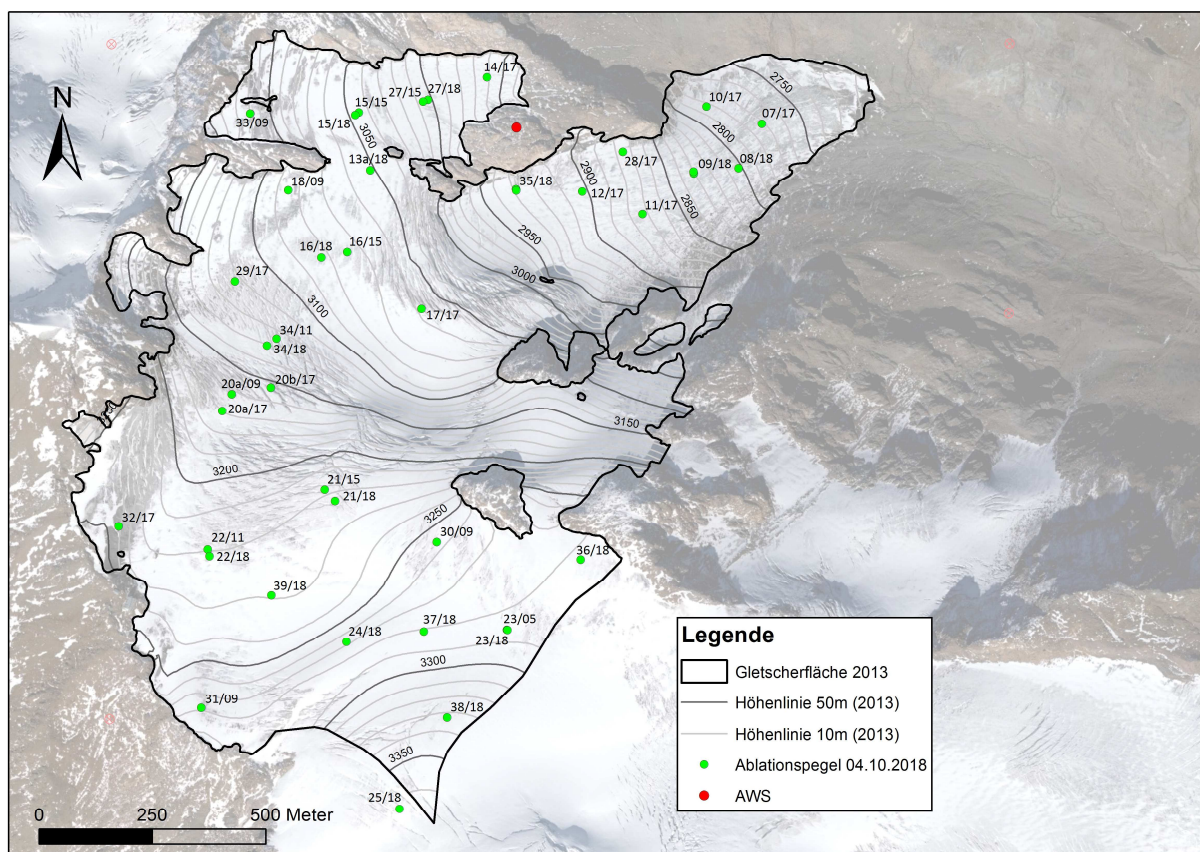


Abb.2: Das Ablationspegelnetz am Langenferner. Die für die Winter- und Jahresbilanz verwendeten Messpunkte sind jeweils in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt.

2.2 Das glaziologische Messnetz am Langenferner

2.2.1 Akkumulationsmessungen

Im Rahmen der Winterbilanz werden am Langenferner traditionell vier Schneeschächte an mehr oder weniger fixen Positionen, verteilt über den Gletscher, angelegt. Die entsprechende Begehung erfolgte heuer am 5. Mai. Dank der Unterstützung durch einen Hubschrauberflug konnten die Arbeiten wie üblich an einem Tag abgeschlossen werden (siehe Begehungsprotokoll in Kapitel 5.1). Die Positionen der Schächte 1 bis 3 blieben im Vergleich zum Vorjahr unverändert. Schacht 4 wurde wegen dem starken Rückzug des Gletschers aufgelassen (siehe Bericht zur Winterbilanz 2018). Neben den drei Schneeschächten wurden 93 Sondierungen zur Bestimmung der Schneehöhe und deren Verteilung, wie üblich möglichst gleichmäßig über den Gletscher verteilt, durchgeführt.

Akkumulationsmessungen im Rahmen der Jahresbilanz am Langenferner waren in den meisten Beobachtungsjahren nur in äußerst beschränktem Ausmaß erforderlich. Meist wurden ein oder zwei Schächte von relativ geringer Tiefe an Punkten nahe dem vermuteten Schneetiefen-Maximum der jeweiligen Akkumulationsfläche angelegt. Die Flächen wurden teils mit Hilfe von GPS, teils manuell

aus optischen Beobachtungen und Fotos kartiert. Dies reichte aus um einen Überblick über die relativ kleinen jährlichen Akkumulationsmassen zu erhalten. Nur in den Jahren 2012/13 und 2013/14 verlangten die relativ großen Akkumulationsmengen aufwändigere Messungen. In diesen Jahren wurden die Schachtmessungen jeweils durch eine größere Anzahl an Schneehöhensondierungen ergänzt.

2.2.2 Ablationsmessungen

Die Messung der Eisablation am Langenferner erfolgt über Kunststoffstangen zu jeweils ca. zwei Metern Länge welche mit einem Stück Gummischlauch miteinander verbunden und mittels heißem Wasserdampf oder mechanisch bis zu zwölf Meter tief ins Eis eingebohrt werden. Das aus dem Eis ragende Ende dieser sogenannten Ablationspegel wird wiederholt abgelesen, wodurch die Eisschmelze an der Gletscheroberfläche quantifiziert werden kann. Zu Beginn des Haushaltsjahres 2017/18 umfasste das Pegelnetz am Langenferner 26 Ablationspegel. Die Namensgebung der Pegel erfolgt einerseits über deren Standort (erste Zahl), andererseits über das Jahr in dem der jeweilige Pegel gebohrt wurde (zweite Zahl). Ein eventuell vorhandener Buchstabe nach der ersten Zahl (z.B. 13a/11) weist darauf hin, dass der Pegel aus diversen Gründen nicht an der ursprünglichen Stelle installiert wurde.

Im Haushaltsjahr 2018 wurden bei der Begehung am 11. und 12. Juli die Pegel 8 und 9 an der Gletscherzunge, sowie die Pegel 13a und 25 nachgebohrt. Bei der Begehung am 22. August wurden die Pegel 15, 16, 21, 22, 23, 27, 32, 34 und 35 nachgebohrt. Aufgrund der Tatsache, dass wegen der teils extrem negativen Massenbilanzen der letzten Jahre und der deutlichen Reduktion der Eisflächen im unteren und mittleren Gletscherbereich, die obere Gletscherregion zur Bestimmung der Massenbilanz eine immer größere relative Wichtigkeit erhält, wurde das Pegelnetz in diesem Bereich erweitert. So wurde bereits am 11. Juli ein neuer Pegel (36) nahe den Drei Kanonen installiert. Bei der Begehung am 22. August wurden drei weitere Pegel (37, 38, 39) installiert und auch Position 24 mit einem Pegel versehen. Anders als das bisherige Pegelnetz am Langenferner bestehen die neuen Pegel im oberen Gletscherbereich aus Holz. Dies soll die Chancen erhöhen die Pegel bei Schneelage aufzufinden und erleichtert aufgrund des niedrigeren Gewichtes gleichzeitig auch die Feldarbeiten. Die Pegel wurden mittels Kovacs-Bohrer jeweils nur 3-3,5 m tief ins Eis gebohrt und sollen jedes Jahr an ihrer ursprünglichen Position erneuert werden. Im Jahr 2019 ist ein weiterer Ausbau des Messnetzes um 2-3 solcher Pegel geplant.

Am Ende des Bilanzjahres 2018 bestand das Pegelnetzwerk am Langenferner aus 32 Ablationspegeln, wovon im Haushaltsjahr 2019 wohl die Pegel 7 und 8 wegen dem starken Eisrückgang aufgelassen werden müssen.

2.2.3 Die Messungen zur Winterbilanz 2017/18

Die Messungen zur Winterbilanz 2017/18 erfolgten am 5. Mai 2018. Im Rahmen dieser Messungen werden am Langenferner traditionell vier Schneeschächte an mehr oder weniger fixen Positionen, verteilt über den Gletscher, angelegt. Heuer jedoch wurde Schacht 4 im untersten Zungenbereich aufgelassen. Der Schacht wurde in den letzten Jahren bereits mehrfach gletscheraufwärts verlegt. Durch die Nähe zu Schacht 3 und den mittlerweile geringen Flächenanteil im Höhenbereich den der Schacht repräsentiert, ist der zu erwartende Zusatznutzen des Schachtes gering, wodurch sich der Arbeitsaufwand nicht mehr rechtfertigen lässt.

Neben den Schneeschächten wurden wie üblich zahlreiche Sondierungen zur Bestimmung der Schneehöhe und deren Verteilung, möglichst gleichmäßig über den Gletscher verteilt, durchgeführt. Seit 2015 erfolgen die meisten Messungen an fixen Koordinaten. So wurden, wie meist schon in den Vorjahren, auch an allen Pegelpositionen Sondierungen durchgeführt um die Bestimmung der Punktwinterbilanz an diesen Standorten zu ermöglichen. Einige Messpunkte wurden gegenüber dem Vorjahr an leicht veränderten Positionen durchgeführt. Dies ist einerseits durch die aktuellen Verhältnisse begründet, welche durch das Vorhandensein von Spaltenzonen oder durch Lawinengefahr Messungen an bestimmten Positionen am Gletscher nicht zulassen, aber auch durch leicht veränderte Pegelpositionen an welche die Sondierungen an den Pegeln natürlich angepasst werden müssen.

Um den einzelnen Sondierungen Dichtewerte zuordnen zu können, wurde eine manuelle Gruppierung der Dichtemesswerte vorgenommen welche topographische Faktoren wie Höhe und Exposition berücksichtigt. Die dabei verwendeten Dichtewerte können den Tabellen 8a und 8b entnommen werden.

2.2.3 Die Messungen zur Jahresbilanz 2017/18

Im Rahmen der Abschlussbegehung am 4. Oktober 2018 wurden alle Pegelpositionen aufgesucht. Erstmals seit Beginn der Messungen am Langenferner konnten bei der Abschlussbegehung auch alle Pegel aufgefunden werden, wobei Pegel 28 offensichtlich gerade vor dem Schneefall am 1. Oktober ausgeschmolzen war. Pegel 23/05 konnte erstmals seit August 2012 wieder aufgefunden werden und ist somit der einzige Pegel der seit dem Jahr 2005 noch im Gletscher verblieben ist.

Insgesamt konnte die Bilanz an 29 Pegeln bestimmt werden, wobei an den Pegeln 12, 13a und 15 Rekonstruktionen vorgenommen werden mussten, da die Pegel am Ende des Bilanzjahres 2017 nicht aufgefunden werden konnten (siehe Bericht zur Massenbilanz 2016/17). Pegel 13a wurde am 11. Juli an der Schneegrenze aufgefunden, wodurch die Rekonstruktion für diesen Messpunkt als relativ genau betrachtet werden kann. Die größte Unsicherheit der genannten Pegel weist wohl Pegel 15

auf, dessen Bilanzwert mit einer Unsicherheit von ca. +/- 250 kg/m² behaftet ist. An den Pegeln 23 und 24 konnte wie schon im Vorjahr kein Bilanzwert ermittelt werden. Die Bilanz war aber an beiden Punkten klar negativ und dürfte im Bereich von -800 (23) bis -1000 (24) kg/m² gelegen haben. Als einziger Pegel wies der am 22. August 2018 neu installierte Pegel 37 eine positive Bilanz auf.

Im Haushaltsjahr 2017/18 beschränkten sich die Akkumulationsflächen auf einen Bereich in der Region zwischen den Pegeln 23, 24 und 25 (siehe Abbildung 5). Letzte kleine Firnreste aus dem Winter 2017/18 konnten auch andernorts am Gletscher (z.B. in der Steilmulde zwischen Pegel 17 und 21) den Sommer überdauern (siehe z.B. Abb. 22), doch aufgrund der Schneelage am Ende des letzten Haushaltsjahres wiesen diese Flächen bezogen auf das hydrologische Haushaltsjahr eine negative Bilanz auf und dürfen daher nicht als Akkumulationsflächen gewertet werden.

Aufgrund der geringen Firnrücklagen wurden heuer keine Sondierungen des Schnees aus dem Winter 2017/18 vorgenommen. Die räumliche Einordnung dieser Bereiche erfolgte mit der Hilfe von Luftbildern vom 22. August 2018 und Satellitenbildern des Sentinel2-Programmes die zum Zeitpunkt der maximalen Ausaperung aufgenommen wurden. Am Ende des Haushaltsjahres am 30. September 2018 war an den Messpunkten kein Schnee aus dem Sommer/Herbst 2018 vorhanden. Nur bei Pegel 31 waren fünf Zentimeter Schnee aus der letzten Augustwoche vorhanden. Die entsprechende Schneedichte wurde auf 400 kg/m³ geschätzt.

2.3 Auswertung der direkten Messungen

Zur flächenhaften Auswertung wurden die bearbeiteten und korrigierten Punktmesswerte der Massenbilanz in das Geographische Informationssystem ESRI ArcGis 10.2 übernommen und in die digitale Karte des Gletschers übertragen. In weiterer Folge wurden händisch Linien gleicher Massenbilanz mit 100 kg/m² Äquidistanz für die Winterbilanz bzw. 250 kg/m² Äquidistanz im Falle der Jahresbilanz generiert. Diese Linien und die Punktwerte wurden digitalisiert und mit der Funktion „*Topo to Raster*“ über die Gletscherfläche extrapoliert. Durch Integration der Bilanzwerte der so entstandenen Rasterzellen über die Gletscherfläche (bzw. die Höhenstufen) ergibt sich die absolute Massenbilanz für den gesamten Gletscher (die Höhenstufe). Teilt man diese in weiterer Folge durch die Fläche des Gletschers (der Höhenstufe) erhält man die mittlere (höhenstufen-) spezifische Bilanz (vergl. Tab. 3). Detailliertere Informationen zur Massenbilanz-Methodik finden sich in Cogley et al. (2011) und spezifisch für das Programm am Langenferner bei Galos et al. (2017).

2.4 Topographische Grundlagen

Die topographische Datengrundlage für die Erstellung der Winterbilanz 2017/18 am Langenferner bildet ein hochaufgelöstes Geländemodell (1 x 1 m) resultierend aus einer flugzeuggestützten Laserscan (ALS) Kampagne, durchgeführt am 22. September 2013. Die Abgrenzung der Gletscherfläche wurde händisch durchgeführt und beruht ebenfalls auf den oben genannten Daten, sowie auf einem Orthophoto aus dem Jahre 2012 und auf direkten Beobachtungen. Die Gletscherfläche 2013 in den diesjährigen Analysen entspricht den Re-Analysedaten in Galos et al. (2017) und unterscheidet sich minimal von jener die in den Jahren 2013/14 und 2014/15 verwendet wurde.

Aufgrund des starken Gletscherrückganges und den damit verbundenen Veränderungen in der Flächenhöhenverteilung der Gletscheroberfläche sind bei der Massenbilanzauswertung Fehler in der Größenordnung von 100 kg/m² zu erwarten. Dies betrifft sowohl die mittlere spezifische Massenbilanz, als auch die errechnete Höhenverteilung der Massenbilanz (Bilanz-Höhenprofil). Eine Aktualisierung der topographischen Daten ist somit überfällig.

Für das Jahr 2019 ist eine Neuvermessung der Gletscheroberfläche (z.B. Pleiades, Laserscan, Photogrammetrie) zur Nachführung der Daten dringend notwendig!

3 Analysen und Ergebnisse

3.1 Der Witterungsverlauf im hydrologischen Haushaltsjahr 2017/18

Bei der Abschlussbegehung zum Haushaltsjahr 2016/17 am 27. September 2017 war der Langenferner bis an seine Zunge mit Schnee bedeckt. Die Schneehöhen erreichten in den oberen Regionen des Gletschers oft 60 bis 80 cm. In den mittleren Bereichen schwankte die Schneehöhe meist zwischen 40 und 60 cm, während an der untersten Zunge nur wenige cm Schnee zu verzeichnen waren.

Nach dem kühlen und feuchten September 2017 folgte ein milder Oktober mit Niederschlagsmengen deutlich unter dem langjährigen Schnitt. Einige Millimeter Niederschlag waren jeweils nur zu Beginn des ersten und des letzten Monatsdrittels zu verzeichnen. Die Temperaturen lagen im ersten Oktoberdrittel im Bereich des langjährigen Mittels bzw. leicht darunter, danach jedoch über dem klimatischen Mittel, vor allem in höheren Lagen. Der November gestaltete sich sowohl bezogen auf die Temperatur, als auch auf den Niederschlag, leicht unterdurchschnittlich. Trotzdem gab es schon im ersten Monatsdrittel erste ergiebige Schneefälle bis in höhere Tallagen.

Anders als in den vergangenen Jahren war der meteorologische Winter (Dezember, Jänner und Februar) im Mittel nicht zu warm und auch eher niederschlagsreich, wobei zumindest in den Talorten die Niederschlagsmengen im milden Jänner und im (vor allem am Schluss) kalten Februar, teils das zwei- oder zweieinhalbfache der langjährigen Werte erreichten. Im Hochgebirge dürften die Niederschlagsmengen wohl etwas näher am langjährigen Mittel gelegen sein.

Ähnlich gestaltete sich der feucht-kalte März, bevor ein ungewöhnlich warmer April schlagartig den Frühsommer einläutete. Durch die für die Jahreszeit teils extrem hohen Temperaturen setzte bereits bis in große Höhen die Schneeschmelze ein was die bis dahin recht gute Schneelage rasch dezimierte. Dies setzte sich im Großen und Ganzen auch im feucht warmen Mai fort. Nur zur Monatsmitte gab es ein paar Zentimeter Neuschnee in der Gletscherregion. Den letzten Schneefall in der (oberen) Gletscherregion gab es am 13. Juni. Abgesehen davon war die Sommerperiode beständig zu warm. Frontniederschläge blieben bis Ende August, als eine Kaltfront am 25. des Monats erste Schneeflocken im Hochgebirge brachte, fast vollständig aus. Regelmäßig war jedoch schwül-warme Witterung mit hohem Eintrag von langweiliger Strahlung zu verzeichnen. Oft lag die Nullgradgrenze nahe 4500 m a.s.l. oder darüber. Der Neuschnee der Schneefälle in der letzten Augustwoche und am ersten September schmolz im Laufe des abermals deutlich zu warmen Septembers am Langenferner quasi vollständig wieder ab was zu weiteren deutlichen Massenverlusten in diesem Monat führte. Die Ablationsperiode 2018 dauerte somit mit nur wenigen kurzen Unterbrechungen von Mitte April bis Ende September. Saharastaub auf der Schneeoberfläche beschleunigte die Schmelze bis in den

Sommer nachhaltig und wirkte sich schlussendlich auf die Jahresbilanz 2018 ebenfalls negativ aus. Somit dürfte das Jahr 2018 für die Gletscher in der Ortlergruppe das ungünstigste seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen gewesen sein. Ein Vergleich mit dem Jahr 2003 ist aus zwei Gründen schwierig: Erstens begannen die Messungen am Langenferner erst im Jahre 2004, zweitens haben die Gletscher der Region seit dem Jahr 2003 nahezu ein Drittel ihrer Fläche verloren, wodurch die gletscherweiten Bilanzen der Jahre 2003 und 2018 nicht direkt verglichen werden können.

3.2 Die Winterbilanz 2017/18

Die Dauer der natürlichen Akkumulationsperiode hängt von der jeweiligen Position am Gletscher ab und reicht jeweils vom ersten Ansammeln festen Niederschlages irgendwann im Spätsommer oder Herbst, bis zum Erreichen des Akkumulationsmaximums im darauf folgenden Frühjahr. Der Übergang von Akkumulation zu Ablation ist im Frühling in den einzelnen Höhenstufen sehr unterschiedlich und teils schwierig zu bestimmen weswegen eine Bestimmung der natürlichen Bilanz (vom Massenminimum im Spätsommer zum Massenmaximum im darauf folgenden Frühjahr) in der Praxis nicht möglich ist. Aus diesem Grund und zur Erhöhung der Vergleichbarkeit mit anderen Messprogrammen wird die Winterbilanz nach fixem Datum über das hydrologische Winterhalbjahr vom 1. Oktober bis zum 30. April des Folgejahres bestimmt.

Der Zeitpunkt der Messungen zur Winterbilanz am Langenferner wird in Abhängigkeit von der Wetter- und Lawinensituation festgelegt und entspricht meist nicht exakt dem Ende der hydrologischen Akkumulationsperiode am 30. April. Im Jahr 2018 konnten die entsprechenden Messungen am 5. Mai durchgeführt werden. Dabei wurden zur Messung der Schneedichte drei Schächte, gleichmäßig über die Höhenerstreckung des Gletschers verteilt, angelegt. Zur Analyse des Wasseräquivalents der Schneedecke und deren räumlicher Verteilung, wurden die Werte aus 93 Schneehöhensondierungen mit den entsprechend extrapolierten mittleren Dichtewerten multipliziert. (Siehe Tab. 1, sowie Tab. 8a und 8b).

Schacht	X UTM	Y UTM	Höhe [m.a.s.l.]	Tiefe [m]	rho [kg/m ³]	c _a 16/17 [kg/m ²]	c _s 18 [kg/m ²]	b _w 17/18 [kg/m ²]
1	623513	5146683	3263	3,73	362	192	84	1089
2	623395	5147549	3095	2,88	418	179	69	957
3	624038	5147671	2897	2,10	422	109	55	723

Tab.1: Koordinaten, Seehöhe, Tiefe, mittlere Dichte, Korrektur für Schnee aus dem Haushaltsjahr 2016/17, Korrektur für Schnee seit 01.05.2018 (betrifft Sommerbilanzperiode 2018) und korrigierter Winterbilanzwert für das fixe Datum (1.10.2017 bis 30.04.2018) der Schächte am Langenferner vom 05.05.2018.

Schnee aus dem Haushaltsjahr 2016/17 wurde bei der Erstellung der Winterbilanz insofern berücksichtigt, als dass die Schneelage vom 30.09.2017 auf dem Gletscher von der Schneedecke am 05.05.2018 abgezogen wurde. Dies geschah bereits bei der Auswertung der Punktmessungen (siehe z.B. Tab. 8a und 8b), denen jeweils ein bestimmter Wasserwert der Herbstschneedecke 30.09.2017 (c_ba_16/17) zugeordnet und dann abgezogen wurde. Die Größenordnung dieser heuer besonders wichtigen Korrektur beträgt im Flächenmittel etwa 150 kg/m^2 . Ohne Berücksichtigung dieses Terms wäre die Winterbilanz 2018 am Langenferner also um ca. 150 kg/m^2 positiver.

Ebenfalls korrigiert wurden die Punktwerte bezüglich der Schneerücklagen die sich in der Periode zwischen dem Ende der hydrologischen Winterperiode am 30.04. und dem Datum der Messungen am 5. Mai 2018 gebildet hatten. Dies basierte auf stratigraphischen Beobachtungen an den Schneeschächten und an einigen weiteren Messpunkten am Gletscher, sowie auf Niederschlagsmesswerten der Stationen „Felsköpfl“ und Sulden. Die Größenordnung der entsprechenden Korrektur beträgt im Flächenmittel etwa 65 kg/m^2 .

Die mittlere spezifische Winterbilanz am Langenferner im Winterhalbjahr 2017/18 nach fixem Datum (1. Oktober 2017 bis 30. April 2018) beträgt: $B_w = +970 \text{ kg/m}^2$

Die mittlere spezifische Masse der Schneedecke die sich zwischen dem 1. September 2017 und dem 5. Mai 2018 am Langenferner gebildet hatte beträgt ca. 1185 kg/m^2 .

3.2.1 Unsicherheiten bei der Erstellung der Winterbilanz 2017/18

Unsicherheiten ergeben sich unter anderem wie immer durch fehlende Messpunkte vor allem in den steilen Gletscherbereichen nordwestlich unterhalb der Drei Kanonen und in besonders spaltenreichen Gebieten. Die entsprechenden Flächen sind aber relativ klein und können aufgrund der Beobachtungen während der Begehungen zu einem gewissen Grad eingeschätzt werden.

Aufgrund der stark negativen Bilanz des Vorjahres traten beim Sondieren der Schneehöhe kaum Ungereimtheiten auf. Einige Sondierungen mit unrealistisch hohen Schneewerten im obersten Gletscherbereich und am Rand der Zunge wurden bei den Auswertungen dennoch nicht explizit berücksichtigt.

Durch mehrere ergiebige Schneefälle im September 2017 wurde das natürliche Haushaltsjahr 2016/17 relativ früh (nämlich am 1. September) beendet. Bei der Abschlussbegehung am 27. September war der Gletscher bereits vollständig schneebedeckt. Die Ablation von Eis nach Ende des hydrologischen Haushaltsjahres kann an den untersten Pegeln trotzdem nicht ausgeschlossen

werden, dürfte aber wegen der kleinen betroffenen Flächen und der geringen Beträge kaum eine Rolle gespielt haben.

Die mögliche Bildung von Aufeis auf dem Eishorizont vom Vorjahr kann nicht quantifiziert werden. Dieser Effekt könnte heuer in den untersten Gletscherbereichen eine Rolle gespielt haben wo die Schneedecke möglicherweise bereits mit Schmelzwasser gesättigt war. Auch hier sind die entsprechenden Flächen auf ca. 10% des Gletschers beschränkt und auch dort würde die entsprechende Unterschätzung der Winterbilanz weniger als 100 kg/m² betragen.

Aufgrund der gegenseitigen Kompensation der beiden letztgenannten Effekte (Eisschmelze und Aufeis) dürfte sich die Unsicherheit der Winterbilanz 2017/18 mit großer Wahrscheinlichkeit im Bereich von +/- 50 kg/m² bewegen (vergl. Galos et al., 2017).

Größte mögliche Fehlerquellen sind dabei die seit 2013 nicht mehr angepassten topographischen Grundlagen der Auswertungen, sowie Messfehler bei den Schneehöhensondierungen, vor allem im obersten Gletscherteil.

3.2.2 Allgemeine Anmerkungen zur Winterbilanz 2017/18

Die Verteilung der Schneedecke im Frühjahr 2018 war in den meisten Belangen unauffällig und durchschnittlich. Es traten altbekannte Muster wie die relativ großen Schneehöhen im Lee des Grates zwischen Casati Hütte und Eisseepass, oder die geringen Schneehöhen in den Regionen um Pegel 21 auf. Einzige Auffälligkeit war die ungewöhnlich starke Durchfeuchtung der Schneedecke welche durch die teils extrem hohen Temperaturen im April erklärbar ist. Den markanten Aprilhorizont – in den oberen Gletscherbereichen überdeckt von einer dicken (40-60 cm) Schneeschicht aus den letzten April- und ersten Maitagen bildete eine ausgeprägte Saharastaubschicht. Die Schneedichte von 360 - 425 kg/m² entspricht in etwa dem langjährigen Durchschnitt.

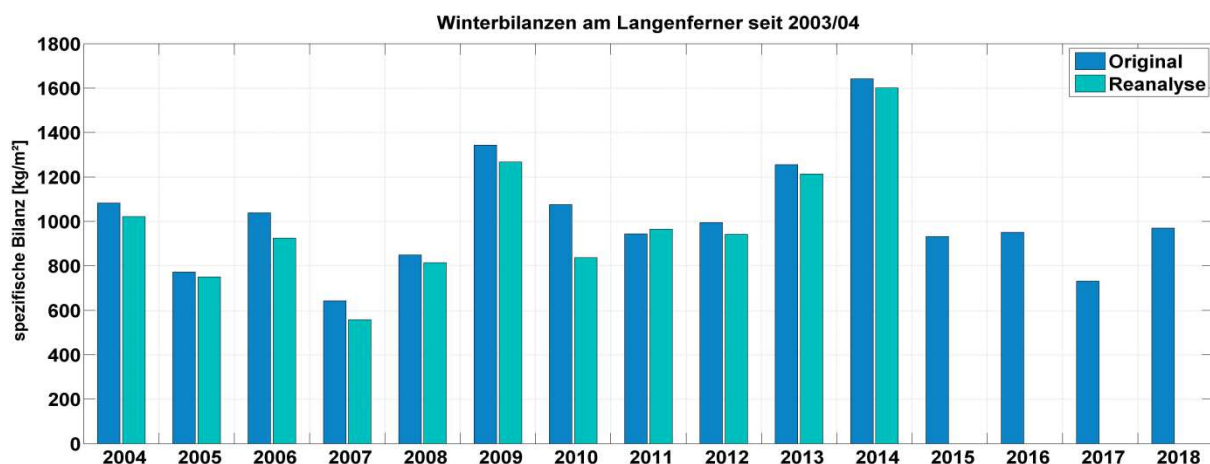


Abb.4: Die gemessenen Winterbilanzen am Langenferner seit 2003/04. In Blau die originalen Werte, in Türkis die Ergebnisse einer Reanalyse der Datenreihe (Galos et al., 2017). Für die Jahre 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18 liegt noch keine Reanalyse vor.

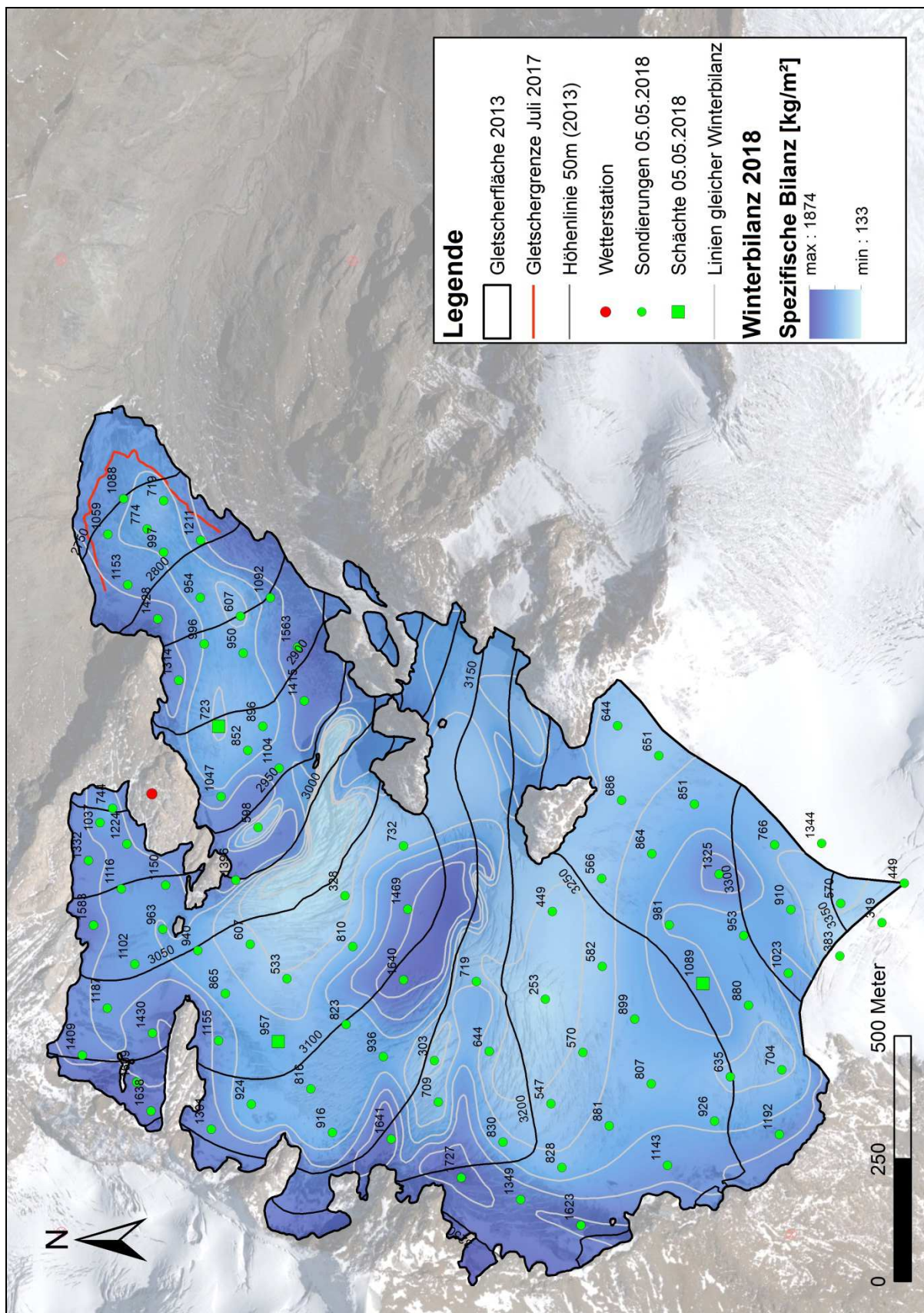


Abb.3: Die räumliche Verteilung der Winterbilanz 2017/18 am Langenferner.

3.3 Die Jahresbilanz 2017/18

Der Berechnung der Jahresbilanz über das hydrologische Haushaltsjahr vom 1. Oktober 2017 bis zum 30. September 2018 liegen Daten aus vier Feldkampagnen zu Grunde. Neben der Frühjahrsbegehung am 5. Mai 2018 wurden drei Begehungen während des Sommers durchgeführt.

Zur Erstellung der Jahresbilanz 2017/18 standen Bilanzdaten von 31 Messpunkten verteilt über die Gletscherfläche zur Verfügung (siehe Abb. 5). Bis auf die zwei Firnschächte, den neu gesetzten Pegel 37 und den heuer erst sehr spät schneefrei gewordenen Pegel 31 (nur knapp negativ) wiesen alle Messpunkte eine deutlich negative spezifische Jahresbilanz auf. Die Eingrenzung der Akkumulationsflächen erfolgte auf Basis von Luftbildern vom 22. August 2018 und Satellitenbildern des Sentinel2-Programmes (siehe Abb. 7). Als zusätzliche Hilfe bei der räumlichen Extrapolation der Messwerte wurden Fotos von den Feldkampagnen verwendet. Die Abschlussbegehung fand am 4. Oktober 2018 statt und liegt daher, wie am Langenferner üblich, sehr nahe am Ende des hydrologischen Haushaltsjahres (30. September). Die Ablation seit dem 30. September ist aufgrund eines Schneefallereignisses am 1. Oktober vernachlässigbar. Die Schneeschicht vom ersten Oktober auf dem zuvor (außer wenigen Zentimetern Augustschnee an Pegel 31 und den kleinen Firngebieten) schneefreien Gletscher zählt zum hydrologischen Haushaltsjahr 2018/19 und wurde somit nicht berücksichtigt. Außer der bereits im Rahmen der Winterbilanz diskutierten Korrektur für die Schneelage am 30. September 2017 mussten keine weiteren Korrekturen durchgeführt werden.

Die mittlere spezifische Massenbilanz am Langenferner im hydrologischen Haushaltsjahr 2017/18 (1. Oktober 2017 bis 30. September 2018) beträgt: $B_a = -2534 \text{ kg/m}^2$.

Die Gleichgewichtshöhe lag im Haushaltsjahr 2017/18 wieder über den höchsten Flächen des Langenfernens, das Akkumulationsflächenverhältnis betrug ca. 0,01.

Tabelle 3 zeigt die Verteilung der Bilanz 2017/18 am Langenferner nach Höhenstufen. Die räumliche Verteilung, sowie die Positionen der Messpunkte können aus Abbildung 5 entnommen werden. Abbildung 6 zeigt die Höhenprofile der saisonalen Bilanzen und der Jahresbilanz 2018 am Langenferner, sowie die in Relation dazu die Bilanzen an den Messpunkten. Die Punktwerte die der Jahresbilanz zugrunde liegen, sowie deren aktuelle UTM-Koordinaten sind in Tabelle 2 aufgelistet.

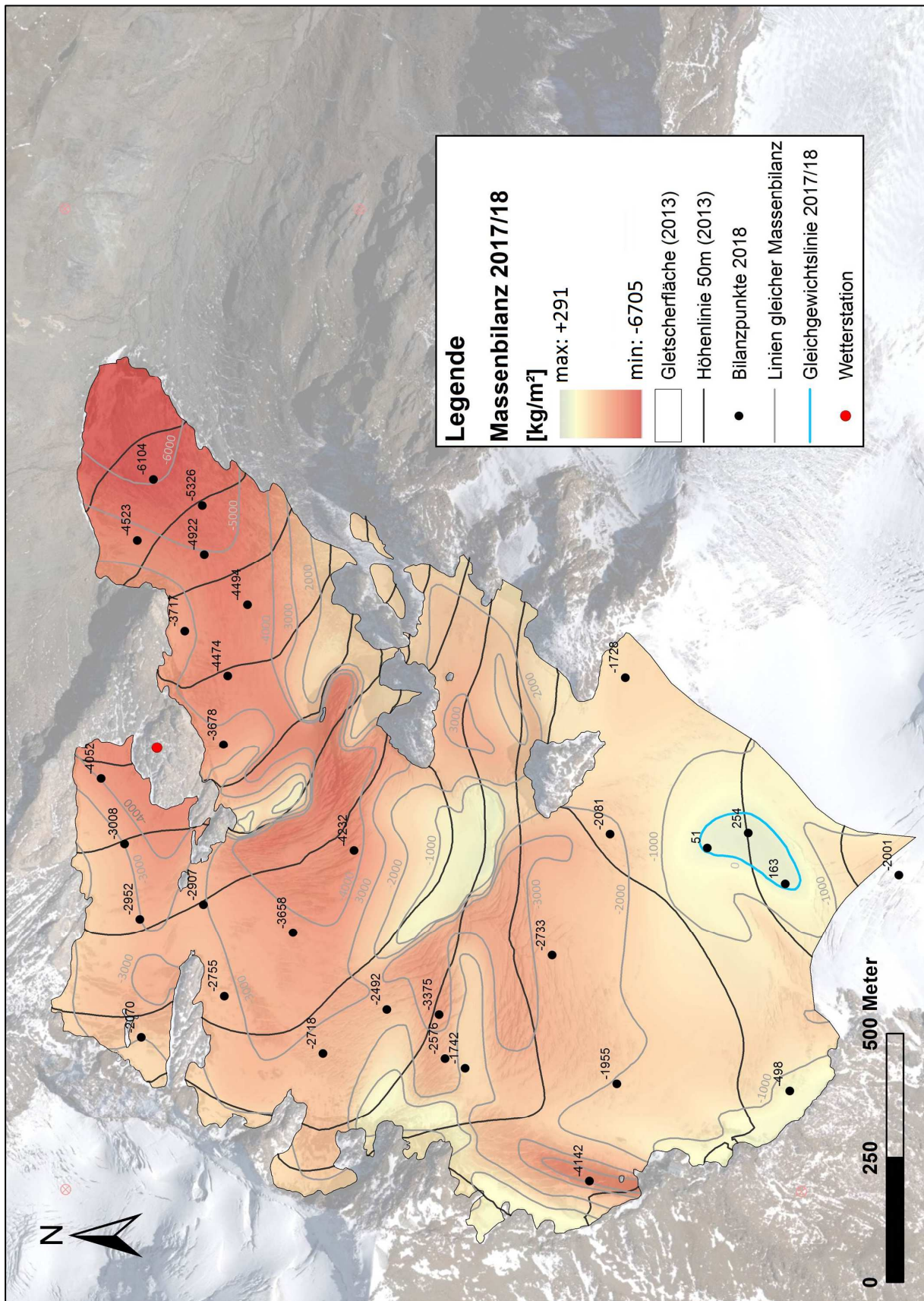


Abb.5: Die räumliche Verteilung der Jahresbilanz 2017/18 am Langenferner.

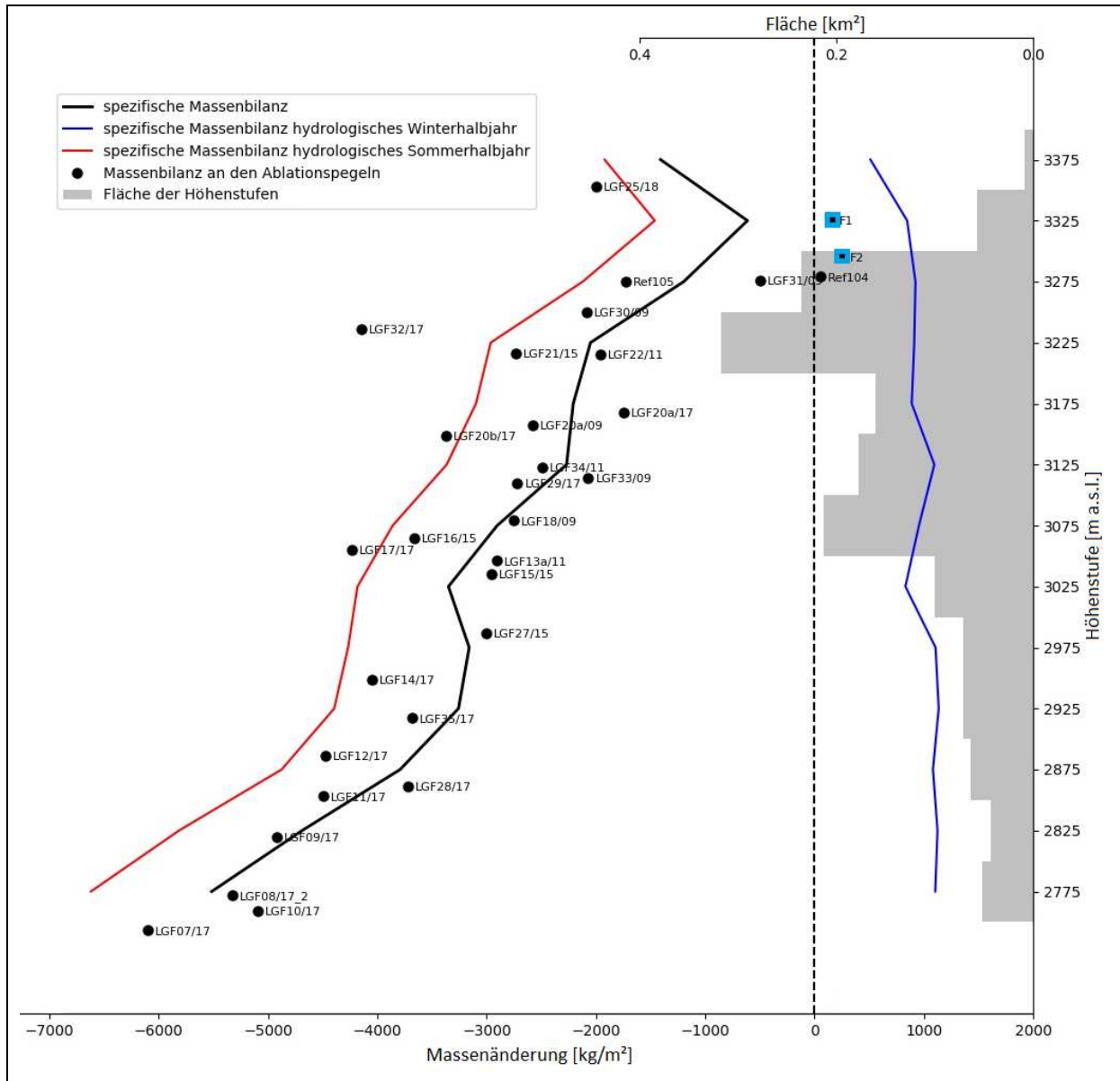


Abb.6: Die Höhenprofile der saisonalen Massenbilanzen 2017/18 am Langenferner mit den vorliegenden Messpunkten für die Jahresbilanz. Für die Messpunkte 23 und 24 liegen heuer abermals keine Bilanzmessungen vor. Die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (definiert als niedrigster Schnittpunkt des Bilanz-Höhenprofiles mit der $b=0$ - Achse) befindet sich über den höchsten Regionen des Gletschers.

3.3.1 Unsicherheiten bei der Erstellung der Jahresbilanz 2017/18

Die größten Unsicherheiten bei der Erstellung der Jahresbilanz 2017/18 resultieren mit Sicherheit aus der seit 2013 nicht mehr angepassten Referenztopographie. Das Resultat ist ein negativer Bias welcher erfahrungsgemäß wohl ca. 80-100 kg/m² betragen dürfte (Galos et al., 2017).

Eine weitere Unsicherheitsquelle ist die Tatsache, dass für die Messpunkte 23 (am 22.08. 2018 nachgebohrt, alter Pegel am 04.10. erstmals seit 2012 wieder gefunden) und 24 (Akkumulationsschacht -> keine Akkumulation, am 22.08. Pegel installiert) keine Messwerte vorliegen und somit Teilgebiete im oberen Gletscherteil nur grob eingeschätzt werden können. Dieses Problem wird aber durch die neuen Pegel 36 und 37, sowie durch zwei Schneeschächte im kleinen Akkumulationsgebiet zwischen den Pegeln 23, 24 und 25 und durch die Einbeziehung des Ausaperungsverlaufs aus Satellitenbildern deutlich eingeschränkt.

Aufeis an der Grenzschicht zwischen Firn und Eis und interne Akkumulation in der Firnschicht aus den Vorjahren konnten in den Messungen nicht berücksichtigt werden. Diese spielten aber wegen der stark negativen Bilanz und der sehr kleinen verbleibenden Firnkörper keine signifikante Rolle.

Insgesamt sollten sich die möglichen Fehler bezogen auf die Massenbilanz 2017/18 im Bereich von etwa 180 kg/m² bewegen, wobei dieser Abschätzung die Annahme eines zufälligen Fehlers von 80 kg/m² und eines negativen Bias von 100 kg/m² (fehlendes Flächenupdate) zugrunde liegt.

3.3.2 Allgemeine Anmerkungen zur Jahresbilanz 2017/18

Die Massenbilanz des Haushaltsjahres 2017/18 ist mit -2534 kg/m² die mit Abstand negativste seit Beginn der Messungen im Haushaltsjahr 2003/04. Dieser Rekord dürfte am Langenferner vermutlich nicht einmal vom Sommer 2003 übertroffen worden sein für den aber leider noch keine Messungen an diesem Gletscher vorliegen. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für die großen Massenverluste war das wärmste Sommerhalbjahr im Ostalpenraum seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen.

Einen wichtigen Aspekt beim Vergleich der beiden negativsten Bilanzjahre in der Messreihe am Langenferner, 2017 und 2018, stellt die starke Schneebedeckung des Gletschers am Ende des Haushaltsjahres 2017 dar. Diese führte zu einer Abschwächung der netto Massenverluste im Jahr 2017 um ca. 150 kg/m², während das Abschmelzen dieser Schneemasse im heurigen Haushaltsjahr im selben Ausmaß negativ zu Buche schlug.

Die Auswirkungen der starken Massenverluste am Langenferner sind mit freiem Auge deutlich sichtbar. So hat sich die Zunge des Gletschers weiter stark zurückgezogen. Das Loch im Eis der Steilzone welche die Zunge vom mittleren Gletscherteil trennt ist deutlich größer geworden, ebenso die Felsinsel am linken Rand der Steilstufe. Besonders stark waren die sichtbaren Veränderungen

auch am Nordrand des Gletschers und unterhalb des Grates zwischen Eisse- und Suldenspitze. Die Zunge ist mittlerweile kaum noch als solche zu bezeichnen und wird wohl innerhalb nur weniger Jahre vom mittleren Gletscherteil getrennt werden. Die Abtrennung des nördlichsten Gletscherteils zwischen den Pegeln 33 und 14 könnte bereits im Jahr 2019 erfolgen, sollte die Bilanz abermals deutlich negativ ausfallen.

Messpunkt	X UTM	Y UTM	Alt	A _{Eis} 11.07.	A _{Eis} 22.08.	A _{Eis} 04.10.	C _a 16/17	C _a 17/18	b _a 17/18
			[m.a.s.l.]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]
LGF07/17	624443	5147814	2743	1719	4599	6048	56	0	-6104
LGF08b/17	624390	5147714	2772	1035	3888	5256	70	0	-5326
LGF09/17	624292	5147711	2820	738	3564	4887	35	0	-4922
LGF10/17	624320	5147846	2759	414	3186	4428	95	0	-4523
LGF11/17	624189	5147623	2853	864	3582	4392	102	0	-4494
LGF12/17	624045	5147663	2886	603	3222	4365	109	0	-4474
LGF13a/11	623582	5147712	3046	0	1944	2718	189	0	-2907
LGF14/17	623837	5147920	2949	0	2826	3870	182	0	-4052
LGF15/15	623552	5147841	3035	0	2115	2763	189	0	-2952
LGF16/15	623525	5147531	3065	522	2727	3492	166	0	-3658
LGF17/17	623692	5147408	3055	1260	3510	4167	65	0	-4232
LGF18/09	623396	5147670	3079	0	1737	2592	163	0	-2755
LGF20a/09	623270	5147224	3157		1899	2475	101	0	-2576
LGF20a/17	623251	5147183	3168	0	1125	1566	176	0	-1742
LGF20b/17	623359	5147236	3149		2862	3375	0	0	-3375
LGF21/15	623479	5147007	3216		2340	2619	114	0	-2733
LGF22/11	623219	5146876	3215	0	1305	1818	137	0	-1955
LGF25/18	623642	5146306	3353	0	1440	1773	228	0	-2001
LGF27/15	623705	5147872	2987	0	2088	2826	182	0	-3008
LGF28/17	624136	5147750	2861	0	2448	3618	99	0	-3717
LGF29/17	623281	5147471	3110		2007	2565	153	0	-2718
LGF30/09	623725	5146890	3250	0	1530	1980	101	0	-2081
LGF31/09	623205	5146526	3276	0	36	342	176	20	-498
LGF32/17	623023	5146931	3236		2970	4077	65	0	-4142
LGF33/09	623313	5147838	3114	0	1107	1917	153	0	-2070
LGF34/11	623369	5147341	3123		1908	2394	98	0	-2492
LGF35/17	623907	5147672	2917	90	2682	3600	168	0	-3678
LGF36/18	624042	5146859	3275	0	1152	1548	180	0	-1728
LGF37/18	623697	5146693	3279	0	0	0	195	0	51
F1	623624	5146536	3325	0	0	0	210	0	163
F2	623727	5146611	3295	0	0	0	210	0	254

Bilanzwerte an den Messpunkten für die Fixed Date Periode 1.10.2017 bis 30.09.2018 (Messzeitraum: 27.09.2017 bis 04.10.2018). Massenänderungen in der Periode zwischen 27. und 30.09.2017 sind aufgrund der kühlen und trockenen Witterung vernachlässigbar. Das Selbe gilt auch für Ablation zwischen 30.09.2018 und 04.10.2018. Schnee vom 1.10. 2018 betrifft das Haushaltsjahr 2018/19 und wurde somit nicht in den Analysen berücksichtigt.

A_{Eis} 11.07.	Eisablation seit 01.10.2017 bis zum 11.07.2018
A_{Eis} 22.08.	Eisablation seit 01.10.2017 bis zum 22.08.2018
A_{Eis} 04.10.	Eisablation seit 01.10.2017 bis zum 04.10.2018
C_a16/17	Wasserwert der Schneedecke am Ende des Haushaltsjahres 2016/17
C_a17/18	Wasserwert der Schneedecke am Ende des Haushaltsjahres 2017/18
b_a 17/18	Spezifische Massenbilanz am Messpunkt über die Periode 01.10.2017 bis 30.09.2018
	Ablationswert rekonstruiert

Tab.2: Die Punktbilanzen an den Messpunkten am Langenferner im Haushaltsjahr 2017/18.

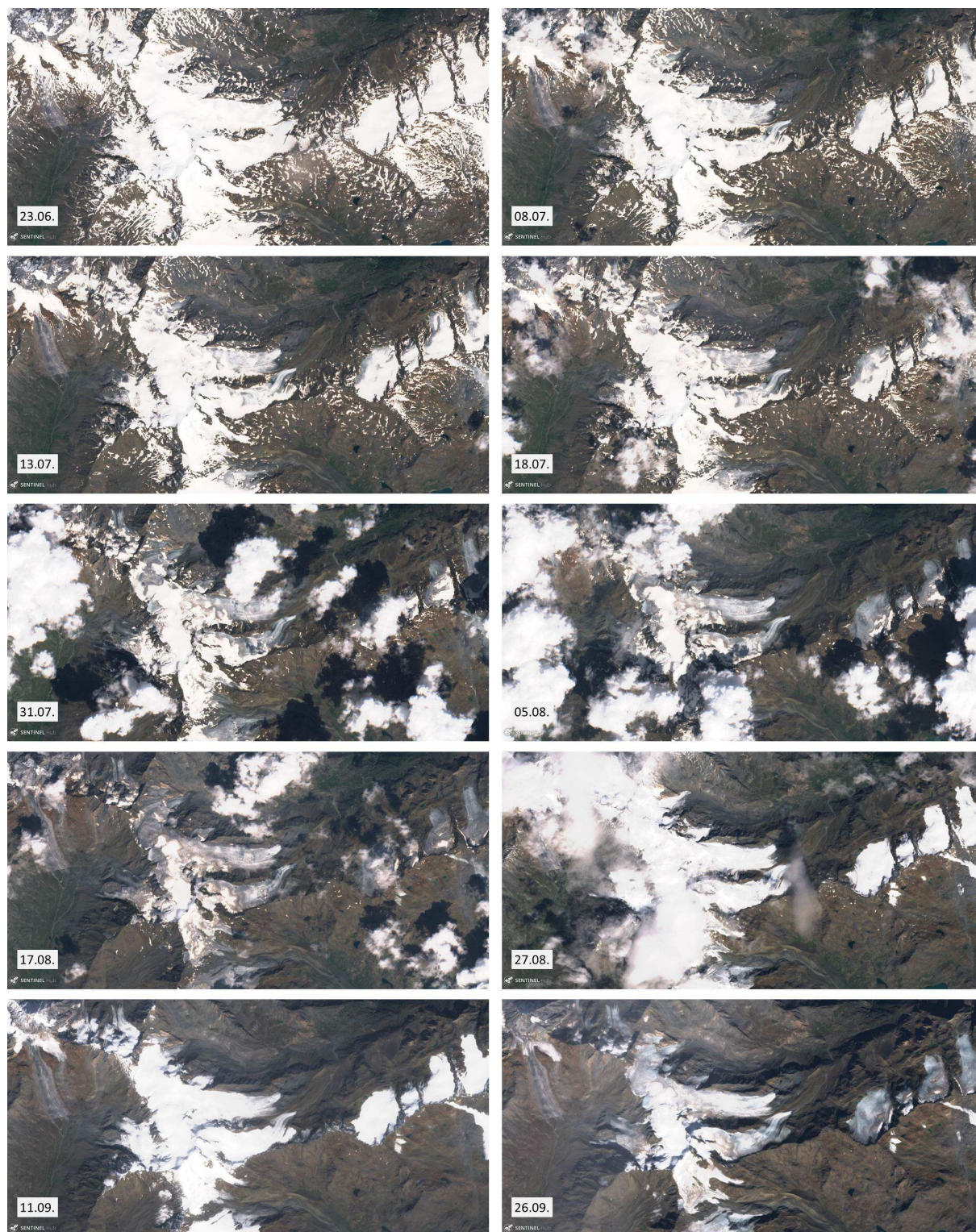


Abb.7: Der Verlauf der Ausaperung am Langenferner und den benachbarten Gletschern in der Ablationsperiode 2018 anhand von Satellitenbildern des Copernicus - Sentinel 2 - Programmes.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für das hydrologische Haushaltsjahr 2017/18 wurden am Langenferner die Winter- und die Jahresbilanz bestimmt. Die Messungen erfolgten nach der direkten glaziologischen Methode mit fixem Datum und wurden für die Frühjahrsbilanz am 5. Mai 2018, für die Jahresbilanz am 4. Oktober 2018 durchgeführt.

Ein relativ feuchter und normal temperierter Winter in Kombination mit trockenen Übergangsmonaten (Oktober, November, April) führte am Langenferner zu einer etwa durchschnittlichen **Winterbilanz** von **+970 kg/m²**.

Die Schneeschmelze am Gletscher begann teilweise bereits im außergewöhnlich warmen April und setzte sich im feucht warmen Frühsommer rasch fort. Die Ablationsperiode 2018 war gekennzeichnet von ganz besonderer Länge und Persistenz deutlich zu warmer Witterung. Obwohl extreme Hitzewellen ausblieben, lagen die Temperaturen nahezu immer über dem klimatischen Mittel und die oft feuchte Luft verstärkte den hohen Eintrag langewelliger Strahlung zusätzlich. Sommerschneefälle blieben zwischen Mitte Juni und Ende August gänzlich aus und auch der deutlich zu warme September brachte noch einmal nennenswerte Massenverluste. Das wärmste Sommerhalbjahr seit Beginn der meteorologischen Messungen führte schließlich zur mit Abstand negativsten am Langenferner gemessenen **Jahresbilanz** von **-2534 kg/m²**.

Die Gleichgewichtshöhe lag im Haushaltsjahr 2018 weit über den höchsten Flächen des Gletschers. Das Akkumulationsflächenverhältnis am Langenferner betrug 0,01.

In Tabelle 3 sind die wichtigsten glaziologischen Kennzahlen des Langenfernens für das Haushaltsjahr 2017/18 aufgelistet. Abbildung 8 und Tabelle 4 liefern einen Überblick über die Bilanzwerte am Langenferner in den einzelnen Messjahren.

Langenferner Bilanzjahr 2017/18							
Zusammenfassung							
		Winter		Sommer		gesamtes Jahr	
	Fläche [m ²]	ΔM_w [10 ³ kg]	B_w [kg/m ²]	ΔM_s [10 ³ kg]	B_s [kg/m ²]	ΔM_a [10 ³ kg]	B_a [kg/m ²]
Langenferner	1599681	1551787	970	-5605123	-3504	-4053336	-2534
S_c [m ²]	16.757		ΔM_c [10 ³ kg]	2.837		B_c [kg/m ²]	169
S_A [m ²]	1.582.924		ΔM_A [10 ³ kg]	-4.056.173		B_A [kg/m ²]	-2.562
						ELA	none
						$S_c:S_A$	0,011
						AAR	0,010

Winterbilanz				Sommerbilanz			
Höhenstufe [m.a.s.l.]	S [m ²]	ΔM_w [10 ³ kg]	B_w [kg/m ²]	Höhenstufe [m.a.s.l.]	S [m ²]	ΔM_s [10 ³ kg]	B_s [kg/m ²]
2725	31393	35099	1118	2725	31393	-231704	-7381
2775	51157	56519	1105	2775	51157	-329986	-6450
2825	43384	48837	1126	2825	43384	-249306	-5746
2875	62923	68196	1084	2875	62923	-307530	-4887
2925	71049	80757	1137	2925	71049	-312298	-4396
2975	71142	78806	1108	2975	71142	-303553	-4267
3025	99591	82869	832	3025	99591	-416409	-4181
3075	213098	203788	956	3075	213098	-822322	-3859
3125	177433	194628	1097	3125	177433	-597055	-3365
3175	160672	143067	890	3175	160672	-497619	-3097
3225	316783	289131	913	3225	316783	-938155	-2962
3275	235415	217504	924	3275	235415	-499077	-2120
3325	56502	47910	848	3325	56502	-82566	-1461
3375	9139	4677	512	3375	9139	-17545	-1920
Gesamt:	1599681	1551787	970	Gesamt:	1599681	-5605123	-3504

Jahresbilanz			
Höhenstufe [m.a.s.l.]	S [m ²]	ΔM_A [10 ³ kg]	B_A [kg/m ²]
2725	31393	-196604,462	-6263
2775	51157	-273466,995	-5346
2825	43384	-200469,344	-4621
2875	62923	-239333,616	-3804
2925	71049	-231540,659	-3259
2975	71142	-224746,383	-3159
3025	99591	-333540,16	-3349
3075	213098	-618534,622	-2903
3125	177433	-402426,603	-2268
3175	160672	-354551,896	-2207
3225	316783	-649024,577	-2049
3275	235415	-281573,348	-1196
3325	56502	-34655,9505	-613
3375	9139	-12867,4223	-1408
Gesamt:	1599681	-4053336,04	-2534

Tab.3: Die wichtigsten glaziologischen Kennzahlen und die Verteilung der saisonalen Bilanzen 2017/18 am Langenferner nach Höhenstufen: Fläche S, Massenänderung ΔM , mittlere Spezifische Bilanz B, Gleichgewichtshöhe ELA und Akkumulationsflächenanteil AAR. Indizes: w... Winter, s... Sommer, a... Jahr, C... Akkumulation, A... Ablation (Cogley et al., 2011).

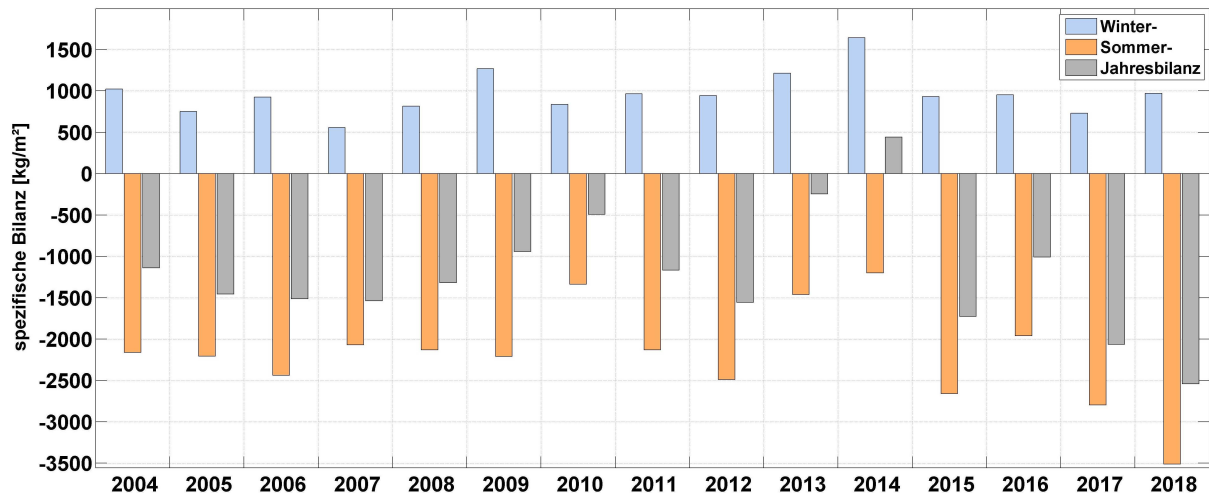


Abb. 8: Die saisonalen Massenbilanzen am Langenferner seit dem Haushaltsjahr 2003/04.

Jahr	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18
Winter	1083	772	1039	642	849	1343	1076	944	995	1255	1642	932	951	731	970
Sommer	-2607	-2144	-2495	-2259	-2486	-2341	-1735	-2022	-2527	-1476	-1201	-2659	-1960	-2797	-3504
Netto	-1524	-1233	-1456	-1616	-1637	-998	-659	-1078	-1532	-221	441	-1727	-1010	-2066	-2534
Reanalyse (Galos et al., 2017)															
Winter	1022	750	925	558	814	1267	837	965	942	1213	1642				
Sommer	-2161	-2206	-2439	-2096	-2132	-2209	-1336	-2131	-2488	-1462	-1201				
Netto	-1140	-1456	-1514	-1539	-1318	-942	-493	-1166	-1556	-246	441				

Tab. 4: Die Werte für die saisonalen, sowie für die Jahresmassenbilanzen am Langenferner in den fünfzehn Jahren seit Beginn der Messungen im Haushaltsjahr 2003/04. Oben die originalen werte, unten die Ergebnisse der Reanalyse nach Galos et al. (2017).

5 Dokumentation der Feldarbeiten

Die Feldarbeiten zur Erstellung der Massenbilanz 2017/18 wurden von einer Reihe von Personen unterstützt und sie verliefen auch in diesem Jahr wieder unfallfrei. Einen besonderen Dank dabei an Riccardo Barella, Mathias Dusch, Lukas Fritz, Matthias Göbel, Philipp Gregor, Carlo Marin, Valentin Marteau, Fabien Maussion, Lilian Schuster, Alexander Kehl, Moritz Oberrauch, Sebastian Stoll, Hannah Tussetschläger und Marc Zebisch.

Die Feldkampagnen wurden vom Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen durch insgesamt drei Hubschrauberflüge unterstützt und konnten so wesentlich erleichtert werden.

Danke an Roberto Dinale für die Organisation der Flüge und die stets unkomplizierte Zusammenarbeit.

Es folgen auf den nächsten Seiten die Begehungsprotokolle, sowie die Fotodokumentation der Feldarbeiten 2017/18 am Langenferner.

5.1 Die Messungen zur Winterbilanz am 05.05.2018

Ziel der Begehung:

Messung der Massentrücklage aus der Akkumulationsperiode 2017/18 zur Erstellung der Winterbilanz, sowie Wartungsarbeiten an der automatischen Wetterstation am Felsköpfl.

Teilnehmer:

Stephan Galos, Fabien Maussion, Mathias Dusch, Lilian Schuster, Mathias Göbel, Valentin Marteau.

Ablauf:

Anfahrt in zwei Gruppen aus Innsbruck (Start: 05:15 Uhr) nach Hintermartell (Ankunft ca. 07:45 Uhr) wo später auch Roberto Dinale und Hartmann Stuefer vom Hydrographischen Amt Bozen eintreffen. Diese nutzen den organisierten Hubschrauber um den Abflusspegel oberhalb der Zufallhütte in Betrieb zu nehmen. Weiters nützen auch noch zwei Geologen und der Bürgermeister der Gemeinde Martell den Hubschrauber für einen Erkundungsflug nach einem Felssturzereignis nahe der Zufallhütte.

Der Anflug mit dem Helikopter auf eine Felsinsel knapp oberhalb des „Felsköpfl“ erfolgt um ca. 08:45 Uhr. Tiefe Bewölkung und Nebelschwaden machen eine Landung weiter oben am Gletscher unmöglich. Aufteilung in drei Gruppen. Während sich die Gruppe Galos / Marteau auf das Anlegen und Aufzeichnen der Schneeschächte im oberen Gletscherteil (Schächte 1 und 2) konzentriert, werden die Sondierungen der Schneehöhe von den beiden Gruppen Maussion / Schuster und Dusch / Göbel übernommen. Während erstere das Auslesen der Wetterstation am Felsköpfl und die Entleerung des Niederschlagssensors durchführen, übernehmen Letztere die Anlage von Schacht 3. Zwischendurch treffen sich die Gruppen am frühen Nachmittag bei Schacht 2 wo die weitere Vorgehensweise besprochen wird.

Aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes und des geringen Zusatznutzens wird auf die Anlage von Schacht 4 im untersten Gletscherteil verzichtet. Dieser Schacht wurde in den vergangenen Jahren aufgrund des stetigen Gletscherrückganges bereits immer wieder gletscheraufwärts verlegt und wird nun aufgrund der Nähe zu Schacht 3 aufgelassen.

Ausgeführte Arbeiten:

In drei Schneeschächten wurden Mächtigkeit und Dichte der Schneedecke gemessen, die sich seit dem Ende der Ablationsperiode 2017 auf dem Langenferner angesammelt hatte.

Zusätzlich wurden insgesamt knapp 100 Sondierungen so gut wie möglich über die Gletscherfläche verteilt durchgeführt, um die Mächtigkeit der Schneedecke und deren Verteilung zu messen. Wenige „Ausreißer“ wurden aus dem Sample entfernt und zur Analyse nicht berücksichtigt.

Die Daten der Wetterstation Felsköpfl wurden durch einen Wechsel der Speicherarte ausgelesen und der Niederschlagsmesser wurde geleert.

Aktuelle Situation:

Der Gletscher präsentierte sich der Jahreszeit entsprechend gut verschneit. Selbst in den oberen und mittleren Gletscherbereichen war der Schnee an der Oberfläche feucht. In den unteren Gletscherbereichen sogar nass. Trotzdem war die Schneedecke in den Schächten noch nicht mit Schmelzwasser gesättigt wobei im untersten Gletscherbereich der Sättigungszustand wohl schon erreicht oder nahezu erreicht war. Die gemessenen Schneehöhen betragen meist zweieinhalb bis dreieinhalb Meter, lokal aber auch (deutlich) darunter oder darüber. Die Schneedichte war mit ca. 365 bis 425 kg/m³ im durchschnittlichen Bereich. Aufgrund der schlechten Sicht konnte keine weitere optische Einschätzung der Verhältnisse am Gletscher erfolgen.

Witterung: Nach einem relativ freundlichen frühen Morgen mit Restbewölkung vor allem im Kammniveau, nehmen die Wolken nach 07:00 Uhr wieder zu und schon beim Anflug zum Gletscher herrschte beinahe geschlossene tiefe Bewölkung und lässt nur einen Flug auf etwa 3000 m a.s.l. zu. Im Tagesverlauf kaum Veränderung und bei teils auffrischendem Wind kurzzeitig sogar leichter Schneefall. Trotz der Sichtweiten von meist nur 50 m (oder darunter) brauchbare Bedingungen, welche für die allesamt qualifizierten Teilnehmer aufgrund der guten Vorbereitung die Durchführung der Messungen ermöglichen.



Abb.9: Verladen des Materials in den Hubschrauber (F. Maussion, 05.05.2018).



Abb.10: Blick aus dem Hubschrauber auf den Talboden oberhalb der Zufallhütte. Fürkele- und Zufallferner sind gut verschneit, die Gipfel über 3100 m a.s.l. verbergen sich bereits unter Nebel (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.11: Blick aus dem Hubschrauber auf das Gletschervorfeld und die verschneite Zunge des Langenferners (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.12: Lagebesprechung im dichten Nebel bei Schacht 2 (F. Maussion, 05.05.2018).



Abb.13: Valentin Marteau beim Anlegen von Schacht 2 (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.14: Matthias Göbel und Mathias Dusch kurz vor Abschluss der Arbeiten an der Gletscherzunge (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.15: Valentin Marteau an Schacht 1 (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.16: Schacht 2 (S. Galos, 05.05.2018).



Abb.17: Schacht 3 (M. Göbel, 05.05.2018).

5.2 Erste Sommerbegehung, 10. bis 12.07.2018

Ziel der Begehung:

Ablesung von Ablationspegeln, Wartung des Pegelnetzes und der Wetterstation am Felsköpfl, sowie Dokumentation der aktuellen Verhältnisse am Gletscher.

Teilnehmer:

Stephan Galos, Fabien Maussion, Lukas Fritz, sowie 9 Studenten der Uni Innsbruck.

Ablauf:

Am Morgen des 10.07. Anfahrt aus Innsbruck in mehreren Gruppen zum Parkplatz der Zufallhütte wo das Material für die nächsten Tage auf die Materialeilbahn verladen wird. Aufstieg zur Hütte und nach einer Rast weiter Richtung Langenferner. Über den Moränenweg geht es bis unter die Eisseespitze wo auf einer Höhe von ca. 3100 m einiges an Material, darunter auch der Dampfbohrer, deponiert wird. Im Gipfelhang der Eisseespitze werden mit den Studenten noch Übungen zum Gehen am Seil mit Steigeisen auf Gletschern durchgeführt und Gruppe Galos besteigt noch den Gipfel. Abstieg im Regen zur Zufallhütte -> Übernachtung.

Am Morgen des 11.07. Aufstieg zum Materialdepot und Aufteilung der Teilnehmer in zwei Gruppen. Gruppe Galos steigt bis zu Pegel 25 auf, welcher neu gebohrt wird. Im Aufstieg werden die Pegel 13a, und 16 abgelesen. Danach Abstieg von Pegel 25 am orographisch rechten Gletscherrand hinunter zum Materialdepot auf der Felsinsel östlich von Pegel 30. Dort werden einige Pegelstangen aufgenommen welche beim nachfolgenden Neubohren von Pegel 13a verwendet werden. Abstieg über die Gletscherzunge und Deponieren des Bohrers bei Pegel 9.

Die Gruppe Fritz/Maussion steigt über Pegel 33 ebenfalls weiter auf und bohrt nahe an den Drei Kanonen einen neuen Ablationspegel (36/18). Danach wird versucht Pegel 23 neu zu bohren. Dies scheitert aber am durchfeuchteten Firn, der ein Bohren mit der Handkurbel des Kovac-Bohrers unmöglich macht. Die Mächtigkeit der Schneedecke an dieser Stelle wird jedoch in einem Schacht bestimmt. Abstieg zur Gletscherzunge.

Gemeinsamer Abstieg beider Gruppen zur Zufallhütte ->Übernachtung.

Am Morgen des 12.07. Aufstieg zur Zunge des Langenferners. Wieder Aufteilen in Gruppen. Gruppe Galos übernimmt das Einmessen des orographisch linken Randes der Gletscherzunge mit GPS, sowie die Ablesung von Pegeln im Zungenbereich und das Bohren von Pegel 9. Später werden in der Schutt/Schneerinne östlich des „Felsköpfls“ Übungen zur Anlage und Dokumentation von Schneedichteschächten durchgeführt. Währenddessen beginnt die Gruppe Fritz/Maussion im Bereich

oberhalb von Pegel 28 mit Übungen zur Spaltenbergung.. Vor dem Abstieg bohrt S. Galos noch den Pegel 8 neu ein. Danach gemeinsamer Abstieg der Gruppen zur Zufallhütte -> Übernachtung.

Am Morgen des 13.07. Abschlussbesprechung auf der Zufallhütte, Abstieg von der Hütte und Heimfahrt nach Innsbruck.

Ausgeführte Arbeiten:

Am 11. und 12. Juli wurden insgesamt xx. Pegel abgelesen (08, 09, 10, 11, 12, 13a, 16 und 34) und fünf Pegel neu gebohrt (08/18, 09/18 13a/18, 25/18 und 36/18) . Weiters wurden am Standort von weiteren Pegeln (23, 25) Schneehöhenmessungen durchgeführt und die Wetterstation am Felsköpfl begutachtet und die Daten ausgelesen.

Aktuelle Situation:

Der Langenferner präsentiert sich für die Jahreszeit bereits stark ausgeapert. So ist die Zunge bereits fast vollständig schneefrei und auch im Mittelteil sind größere Flächen bereits frei von Winterschnee. Der extrem warme Frühsommer hat am Gletscher deutliche Spuren hinterlassen. In den schneebedeckten Flächen ist die Oberfläche geprägt von hohen „Suncups“ die ein Vorankommen im teilweise sehr nassen Schnee besonders anstrengend machen. In flacheren Gebieten mit starker Sonneneinstrahlung sinkt man manchmal hüfttief im Schnee ein. Deutlich aber nicht extrem angeschwollene Gletscherabflüsse.

Witterung:

Meist freundlich, abwechselnd Sonne und Wolken. Durchwegs sehr warm und schwacher bis mäßiger Wind. Am Abend des 10.07. länger anhaltender Regen, oberhalb von ca. 3400 m Schnee bzw. Graupel. Am Abend des 12.07. nach Eintreffen auf der Zufallhütte Gewitter und ebenfalls Niederschlag.



Abb.18: Die Zunge des Langenferners beim Aufstieg über den Moränenweg (V. Marteau, 11.07.2018).



Abb.19: Blick vom Gipfelhang der Eisseespitze Auf den mittleren Teil des Langenferners (L. Schuster, 11.07.2018).



Abb.20: Stephan Galos und Manuel Saigger beim Bohren von Pegel 25/18 (V. Marteau, 11.07.2018).



Abb.21: Blick vom obersten Langenferner auf Königsspitze, Casatihütte und Suldenspitze (V. Marteau, 11.07.2018).

5.3 Zweite Sommerbegehung, 22.08.2018

Ziel der Begehung:

Ablesen sämtlicher Ablationspegel, Wartung des Pegelnetzes, Nachbohren von mehreren bestehenden Pegeln und Installation von neuen Pegeln im obersten Bereich des Gletschers.

Dokumentation der aktuellen Verhältnisse.

Teilnehmer:

Stephan Galos, Hannah Tussetschläger, Moritz Oberrauch und Sebastian Stoll.

Ablauf:

Anfahrt in zwei Gruppen aus Innsbruck (Start: 04:30 Uhr) nach Hintermartell (Ankunft ca. 07:10 Uhr). Dort Vorbereitung des Materials beim ehemaligen Hotel Paradies von wo diesmal der Hubschrauber startet. Um kurz nach 08:00 Uhr Flug mit dem Hubschrauber zum Plateau bei Pegel 25. Dort Packen des Materials und Aufteilung in zwei Arbeitsgruppen. Team Prantl/Oberrauch steigt über Pegel 31, der abgelesen wird, ab zu Pegel 22 und bohrt diesen neu ein. Danach werden die Pegel 21, 34, 16, 15, 27 und 35 abgelesen und neu gebohrt, sowie die Pegel 32, 29, 14 und 12 abgelesen. Team Galos/Stoll steigt nach der Ablesung von Pegel 25 im Bereich des orographisch rechten Gletscherrandes ab und bohrt auf halbem Weg zwischen Pegel 25 und Pegel 23 einen neuen Firnpegel (38) ein. Danach Abstieg zu Pegel 23, der aber trotz abermals stark negativer Bilanz im Firn der Jahre 2013 und 2014 immer noch nicht wieder auffindbar ist. Der Pegel wird neu gebohrt. Danach Ablesen von Pegel 36 der im Zuge des Glaziologischen Praktikums im Juli installiert wurde. Wieder Aufstieg zu Messpunkt 24 (= Schacht 1) und Bohren eines Firnpegels. Zwischen Pegel 23 und 24 wird ein weiterer Firnpegel (37) installiert. Ein letzter neuer Pegel (39) wird noch in der Mulde südlich von Pegel 22, bzw. der ehemaligen Wetterstation gesetzt. Danach Abstieg und Ablesen der Pegel 20a, 20b, 17, 16, 18, 33 und 13a. Dann hinunter zur Wetterstation am Felsköpfl und Deponieren der eingesammelten Pegelstangen. Auslesen der Daten durch Tausch der Speicherkarte. Sonst scheint alles in Ordnung, Lüftung des Rotronic läuft. Abstieg auf die Gletscherzunge und Ablesen der Pegel 28, 11, 09, 08, 07 und 10. Verlassen des Gletschers um 16:30 (Galos / Stoll) bzw. 17:05 (Prantl / Oberrauch). Abstieg entlang der Plima und später auf dem Wanderweg zur Zufallhütte und hinunter zum Parkplatz. Ankunft ca. 18:50. Abendessen im Goldrainer Hof, Ankunft in Innsbruck um 23:00 Uhr.

Ausgeführte Arbeiten:

Das Pegelnetz am Langenferner wurde gewartet und erweitert. Alle bestehenden Pegel wurden aufgesucht und mit Ausnahme von Pegel 23 gefunden und abgelesen. Außerdem wurden folgende acht Pegel nachgebohrt: 15, 16, 21, 22, 23, 27, 34 und 35. Im obersten Gletscherteil, über 3240 m, wurden vier neue Messpegel installiert. Einer davon an Messpunkt 24 wo schon im Jahre 2005 ein Pegel gesetzt wurde, der, vermutlich wegen Akkumulation, nie mehr aufgefunden werden konnte. Zusätzlich wurde die Wetterstation am Felsköpfl kontrolliert und die Daten ausgelesen. Die Verhältnisse am Gletscher wurden durch zahlreiche Fotos dokumentiert.

Ablationspegel am ganzen Gletscher wurden eingesammelt und drei Depots angelegt: Felsköpfl (8 Holz und ca. 25 Plastik), Felskopf bei Pegel 8 (ca. 14 Plastikstangen) und im Schutt vor der Zunge (ca. 15 -20 Plastikstangen). Vor allem jene am Felsköpfl können in Zuge eines Helifluges schnell aufgenommen werden, sollte dies im Rahmen einer Bohraktion nötig sein.

Aktuelle Situation:

Der Gletscher präsentiert sich nach einem extrem langen, und ohne größere Unterbrechungen anhaltend heißen Sommer in einem besonders schlechten Zustand. Der Zerfall in den unteren Regionen und entlang des Grates zwischen Suldenspitze und Eisseepass hat sich seit der letzten Begehung im Juli in dramatischem Ausmaß fortgesetzt. Der Gletscherteil unter dem Eisseepass hat sich nun durch das Ausapern großer Felsflächen im Bereich von Pegel 13a und an der Felsrippe die zwischen Pegel 18 und 33 vom Grat herunter zieht, nahezu vom Hauptgletscher abgetrennt, Die Felsinseln im ehemaligen Gletscherbruch oberhalb der Zunge sind deutlich größer geworden und werden in den nächsten Jahren bald zum Trennen der Zunge vom Hauptgletscher führen. Außer in der Steilmulde oberhalb von Pegel 17 und auf einer größeren Fläche im obersten südöstlichen Gletscherteil ist praktisch kein Schnee aus dem vergangenen Winter mehr vorhanden. Auch auf den genannten Firnflächen ist die Jahresbilanz bereits großteils negativ wenn die Schneelage vom 30. September 2017 berücksichtigt wird. Auch im Zungenbereich setzen sich die Zerfallerscheinungen schnell fort. Pegel 08 wird wohl nächstes Jahr aufgegeben werden müssen. Auch die Pegel 7 und 10 wird es in den nächsten Jahren treffen.

Witterung:

Warmes Sommerwetter, aber von Beginn an bewölkt, später stark bewölkt und am frühen Nachmittag kurzer Regenschauer, danach wieder freundlicher, beim Abstieg sogar sonnig. Leichter Wind, nie lebhaft. Nullgradgrenze über 4000 m, starkes Schmelzen selbst bereits am Morgen in den oberen Regionen, stark angeschwollene Abflüsse, aber nicht extrem.

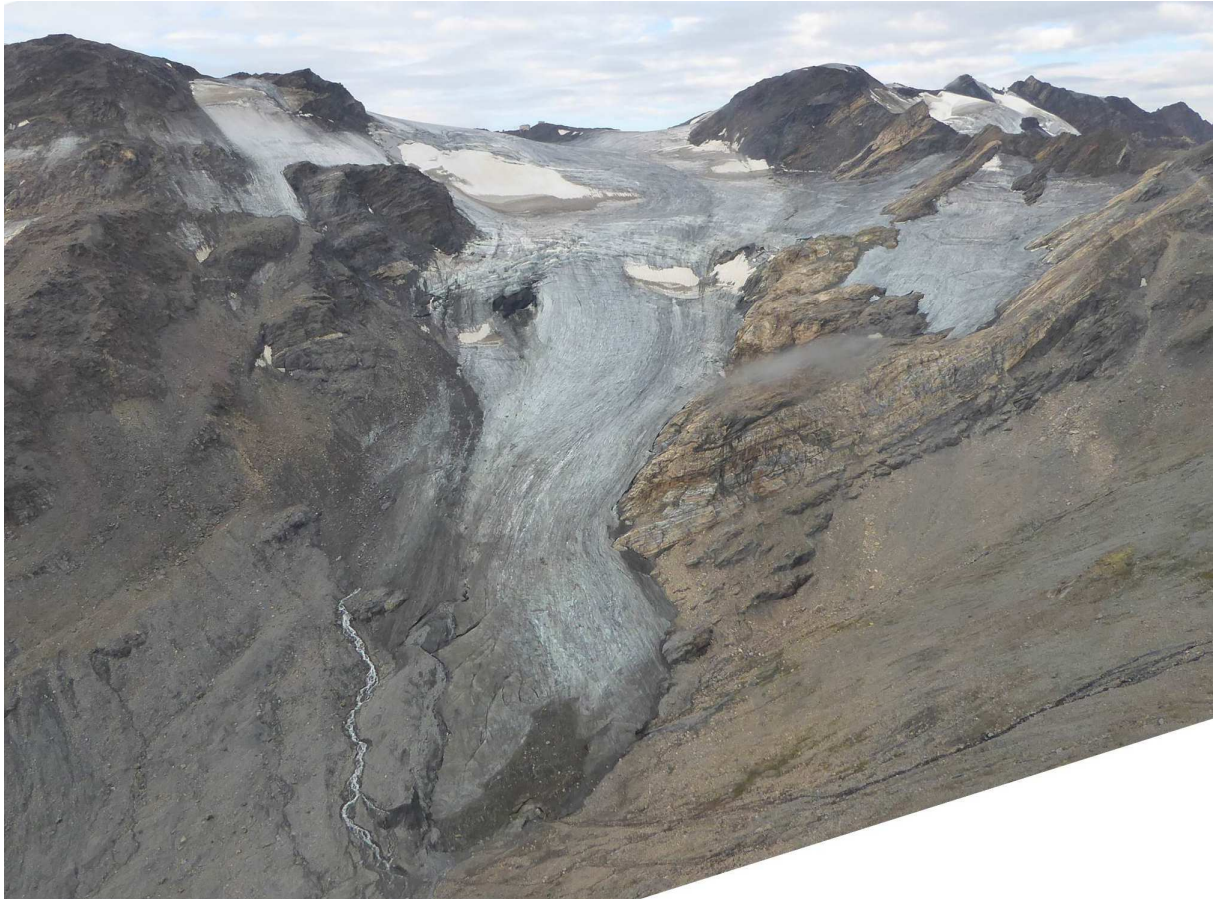


Abb.22: Die Zunge des Längenferners beim Anflug zu den Feldarbeiten mit dem Helikopter (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.23: Blick vom Helikopter auf den mittleren Gletscherbereich (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.24: Blick vom Helikopter auf die oberste Region des Langenferners wo teilweise noch Schneereste aus dem vergangenen Winter vorhanden sind (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.25: Moritz Oberrauch beim Ablesen von Pegel 31/09 direkt an der Schneegrenze (H. Tussetschläger, 22.08.2018).

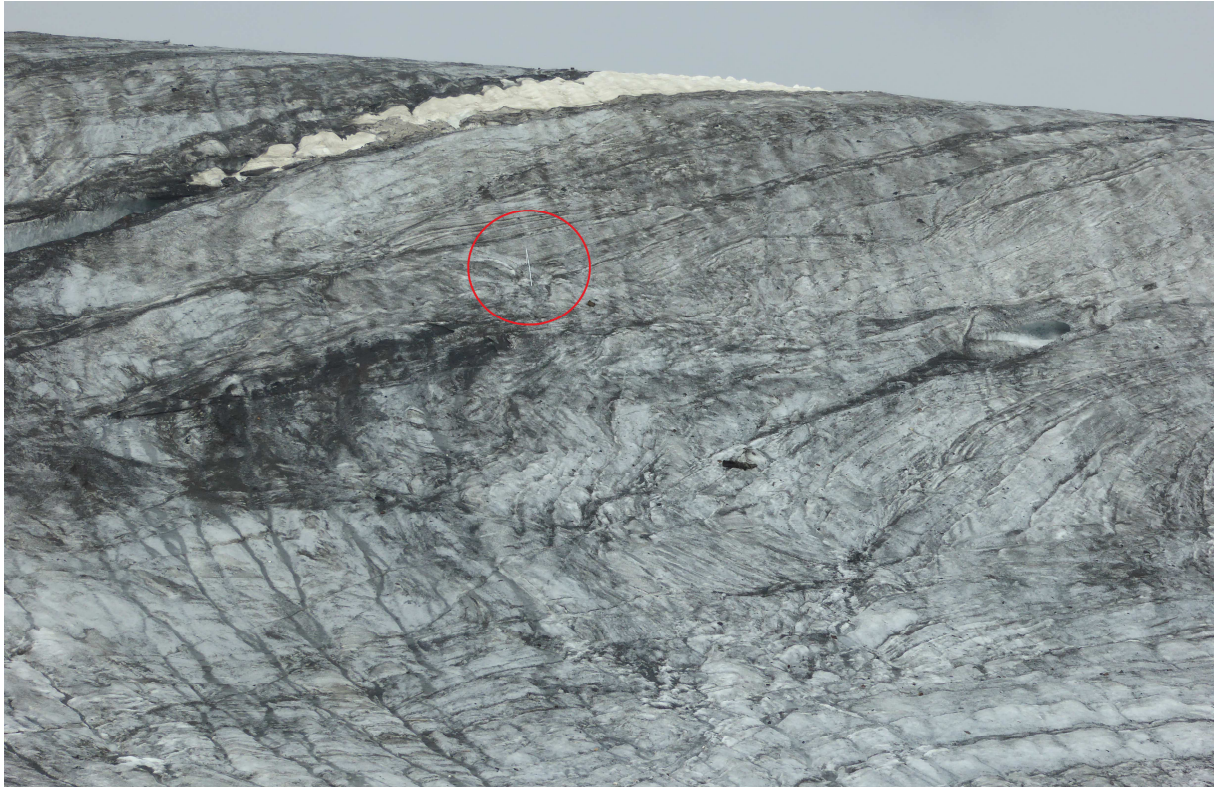


Abb.26: Blick auf Pegel 32 (roter Kreis) im Steilhang nördlich der Casatihütte (H. Tussetschläger, 22.08.2018).



Abb.27: Sebastian Stoll mit dem neuen Pegel 38/18 (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.28: Sebastian Stoll beim neu gebohrten Pegel 23/18 (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.29: Blick von Pegel 36 auf die Gipfel der Zufallspitzen (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.30: Stephan Galos und Sebastian Stoll beim Bohren von Pegel 24/18 (H. Tussetschläger, 22.08.2018).



Abb.31: Pegel 16 mit den schuttbedeckten Steiflanken unter dem Grat nördlich der Suldenspitze im Hintergrund (H. Tussetschläger, 22.08.2018).



Abb.32: Blick von der Felsinsel zwischen Pegel 18 und 33 auf den mittleren Gletscherteil (S. Galos, 22.08.2018).



Abb.33: Südlich des großen Lochs im ehemaligen Eisbruch tut sich ein weiteres Felsfenster mit einem Wasserfall auf (im Bild links). Ein weiteres Indiz für das Voranschreitende Abtrennen der Gletscherzunge. (S. Galos, 22.08.2018)

5.4 Dritte Sommerbegehung (Abschlussbegehung) am 04.10.2018

Ziel der Begehung:

Erhebung der notwendigen Daten zur Erstellung der Jahresbilanz. Ablesen sämtlicher Ablationspegel, Quantifizierung der Firnücklagen, Wartung der Wetterstation am „Felsköpfl“ und Dokumentation der aktuellen Verhältnisse.

Teilnehmer:

Stephan Galos, Phillip Gregor, Alexander Kehl, Riccardo Barella, Carlo Marin, Marc Zebisch.

Ablauf:

Anfahrt von Innsbruck (05:00 Uhr) nach Hintermartell. Um 08:00 Uhr Zusammentreffen mit der Gruppe der EURAC und kurzes Briefing aller Beteiligten am Parkplatz Hintermartell. Danach Anflug in zwei Heli-Rotationen auf das Gletscherplateau nordwestlich des Cevedale. Dort Einteilung der Beteiligten in die Gruppen 1 (Gregor/Kehl) und 2 (Galos/Barella/Marin/Zebisch). Gruppe 1 beginnt mit der Ablesung eines von zwei Pegeln, die eine Italienische Gruppe im Rahmen einer regionalen Massenbilanzstudie (Riccardo Scotti, persönliche Kommunikation) installiert hat. Danach geht es für Gruppe 1 weiter zu den Pegeln 25, 31, 39, 22, 32, 20a, 20b, 34, 29, 16, 33, 15 und schließlich zur Wetterstation am „Felsköpfl“. In der Nähe von Pegel 31 wird noch der zweite Pegel der italienischen Gruppe abgelesen.

Währenddessen legt Gruppe 2 nach der Ablesung von Pegel 38 zwei Firnschächte (F1 und F2) im Akkumulationsgebiet an. Anschließend muss auch an Pegel 37 ein Firnschacht gegraben werden da an dessen Standort noch Schnee aus dem letzten Winter vorhanden ist. Während Zebisch/Barella den Schacht anlegen, begeben sich Galos/Marin zu Pegel 23 wo erstmals seit August 2012 wieder der 2005 gebohrte Pegel aufgefunden werden kann. Es werden sowohl dieser als auch der neue Pegel (23/18) abgelesen. Nach der Ablesung von Pegel 36 geht es zurück zum Schacht bei Pegel 37. Weiter zu Pegel 24 und danach zum Materialdepot auf der Felsinsel westlich der Drei Kanonen. Dort wird der seit 2015 deponierte CR3000 Logger aufgenommen und abtransportiert. Weiter über Pegel 30 zum Standort der ehemaligen AWS-Eis. Dann Ablesen der Pegel 21, 17, 16/18, 13a, 27 und Abstieg zur AWS-Felsköpfl. Dort gemeinsame Rast beider Gruppen. Auslesen der Daten der Station, Ausrichtung des Pyranometers, Leeren des Niederschlagsmessers und Neubefüllung mit Frostschutz, Abmontage des nicht angeschlossenen CNR4 und Abtransport. Das Aufspielen eines neuen Logger-Programmes scheitert am kaputten Verbindungsadapter für den Laptop.

Danach wieder Aufteilung in die Gruppen. Gruppe 1 liest die Pegel 14, 35, 11 und 8 ab, während Gruppe 2 sich die Pegel 12, 28, 9, 10 und 7 vornimmt und noch den untersten Eisrand mit

konventionellem GPS einmisst. Dann um kurz nach 16:00 gemeinsamer Abstieg entlang der Plima bis auf das Plateau oberhalb der Zufallhütte. Von dort auf dem Weg ins Tal. Ankunft am Parkplatz um 18:10 Uhr. Gemeinsames Abendessen in Goldrain und Heimfahrt.

Ausgeführte Arbeiten:

Es wurden alle notwendigen Daten für die Erstellung der Jahresbilanz am Langenferner erhoben. Dabei wurden alle Ablationspegel am Gletscher aufgesucht, gefunden und abgelesen. Darüber hinaus wurden zwei Firnschächte im Akkumulationsgebiet im obersten Gletscherbereich angelegt und aufgenommen. Es wurden Bestandteile der 2015 aufgelassenen Wetterstation abtransportiert und die Wetterstation am Felsköpfl gewartet, sowie die Daten der Selben ausgelesen. Es erfolgte eine Vermessung der Gletscherzunge mit GPS. Die aktuellen Verhältnisse am Gletscher und in dessen Umfeld wurden ausführlich photographisch dokumentiert.

Aktuelle Situation:

Der Gletscher präsentiert sich mit einer dünnen Schneeschicht vom 1. Oktober. Diese ist im oberen Gletscherteil unregelmäßig verblasen und dort beträgt die Schneehöhe meist nur 0-5 cm, in Dünen jedoch bis 50 cm und mehr. Im mittleren und unteren Gletscherbereich ist die Verteilung des Schnees homogener und die Schneehöhen variieren meist zwischen 5 und 15 cm, erreichen jedoch am Rand des Gletschers teilweise 35 cm (z.B. bei Pegel 28). Der Schnee aus der kühlen Periode Ende August / Anfang September ist mit Ausnahme von Pegel 31 an allen Messpunkten wieder abgeschmolzen. Die Spuren des extrem langanhaltend warmen Sommers sind deutlich zu sehen. Offene Spalten, verstärkte Schuttbedeckung, stark vergrößerte und neue Felsinseln illustrieren den schlechten Zustand des Gletschers.

Witterung:

Wunderbares Herbstwetter, weitgehend wolkenlos, wenig Wind, mild. Schnee im mittleren und unteren Gletscherbereich feucht. Nullgradgrenze deutlich über 3000 m, aber sehr trockene Luft.



Abb.34: Der untere und mittlere Teil des Langenferners beim Anflug zu den Feldarbeiten am 4.10.2018 (S. Galos).



Abb.35: Auch die Eisflächen in den steilen Nordhängen unter den Drei Kanonen sind im langen heißen Sommer 2018 deutlich abgeschmolzen (S. Galos, 04.10.2018).



Abb.36: Philipp Gregor und Alexander Kehl beim Ablesen von Pegel 31/09 (S. Galos, 04.10.2018)

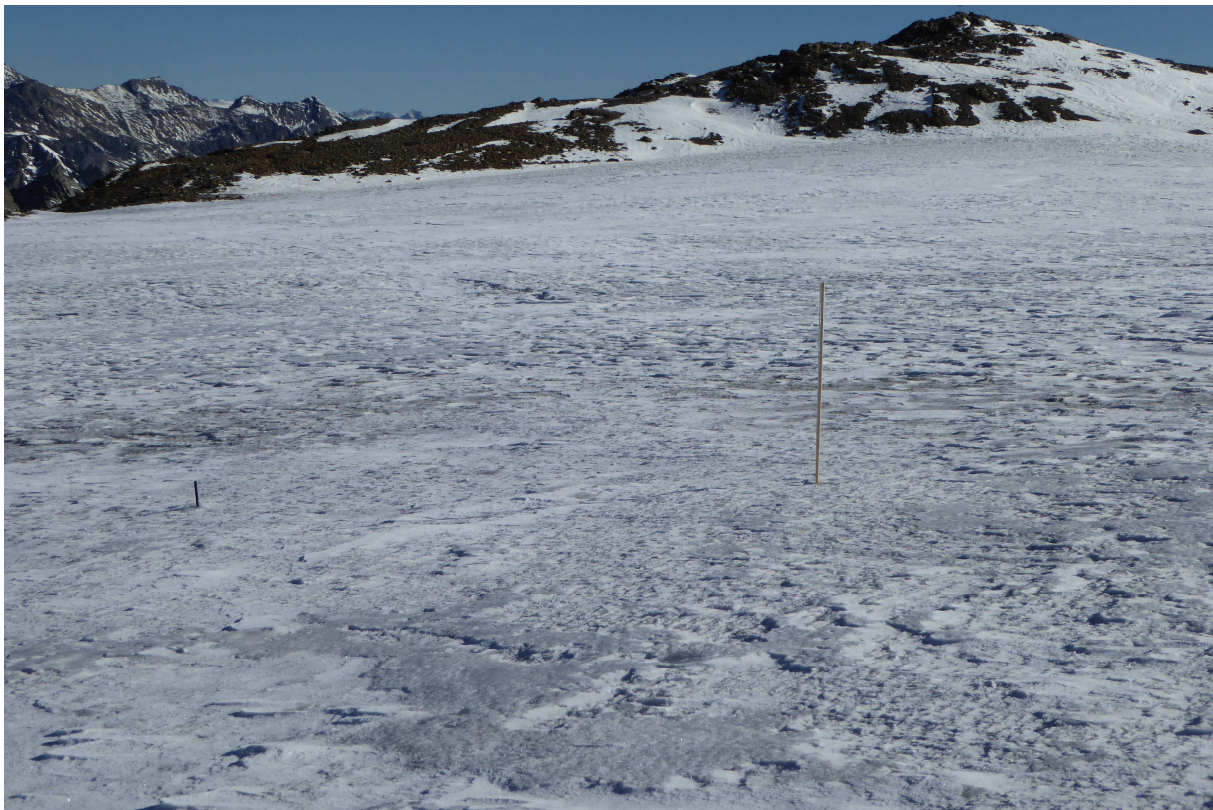


Abb.37: Pegel 23/05 (links) konnte erstmals seit Ende August 2012 wieder aufgefunden werden. Seit damals ist er offensichtlich kaum gewandert und befindet sich jetzt nur wenige Meter neben Pegel 23/18, der am 22. August 2018 an den alten GPS-Koordinaten von Pegel 23/05 neu installiert wurde (S. Galos, 04.10.2018).



Abb.38: Blick auf das Plateau nahe der Casatihütte. Ein großer Teil der Felshänge nördlich (rechts) der Hütte wurde erst im Sommer 2018 eisfrei. Die Ablation in den ostexponierten Hängen betrug teils mehr als vier Meter Eis.



Abb.39: Trotz eines Schneefall-Events am 01.10. 2018 blitzt vielerorts am Gletscher das Blankeis hervor. Blick von der Felsinsel zwischen Pegel 18 und 33 Richtung Zufallspitzen und Cevedale (S. Galos, 04.10.2018).



Abb.40: Alexander Kehl beim Ablesen von Pegel 14/17 (P. Gregor, 04.10.2018).



Abb.41: Der Gletscher schmilzt nicht nur von der Oberfläche her. Freigeschmolzene Schmelzwasserkanäle an der Zunge des Langenferners (S. Galos, 04.10.2018).

6 Tabellen und Messwerte

6.1 Die Schächte zur Winterbilanz 2017/18

Es folgen die Tabellen mit den Auswertungen zu den Dichte- und Wasserwertmessungen in den einzelnen Schneeschächten welche im Zuge der Begehung am 05.05.2018 am Langenferner angelegt wurden. Die Positionen der Schächte 1 bis 3 stimmen mit den Positionen in den beiden Vorjahren überein. Schacht 4 wurde mit dem aktuellen Haushaltsjahr aufgelassen.

Schacht S1: Stephan Galos & Valentin Marteau, 05.05.2018							
GPS (WGS84, 32T)	RW: 623513	HW: 5146683	Alt: 3263	Messpunkt / Pegel 24			
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
373	0,0285	0,211	0,00053842				
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
1		0,211	682	559	123	228	48
2		0,211	682	559	123	228	48
3		0,211	699	559	140	260	55
4		0,211	728	559	169	314	66
5		0,211	730	559	171	318	67
6		0,211	758	559	199	370	78
7		0,211	754	559	195	362	76
8		0,211	744	559	185	344	72
9		0,211	773	559	214	397	84
10		0,211	778	559	219	407	86
11		0,211	782	559	223	414	87
12		0,211	795	559	236	438	92
13		0,211	808	559	249	462	98
14		0,211	811	559	252	468	99
15	0,003	0,214	766	559	207	379	81
16		0,211	743	559	184	342	85
17		0,211	777	559	218	405	85
18	-0,111	0,100	662	559	103	404	36
Summe:		3,690	13472	10062	3410	362	1345
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]			0,05	rho [kg/m³]:	362	ww [kg/m²]:	19
Schnee 30.09.2017 (aus Messung 27. Sept 2017)			0,59	rho [kg/m³]:	325	ww [kg/m²]:	192
Schnee seit inkl. 01.05.2018:			0,37	rho [kg/m³]:	228	ww [kg/m²]:	84
					korrigiert:	1089 kg/m²	

Tab.5: Die Auswertung zu Schacht 1 bei der Begehung zur Messung der Winterbilanz am 5. Mai 2018.

Schacht S2: Stephan Galos & Valentin Marteau, 05.05.2018							
GPS (WGS84, 32T)	RW: 623395	HW: 5147549	Alt: 3095				
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
2,88	0,0285	0,211	0,00053842				
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
1		0,211	694	558	136	253	53
2	0,003	0,214	688	558	130	238	51
3		0,211	762	558	204	379	80
4		0,211	819	558	261	485	102
5	0,003	0,214	820	558	262	480	103
6		0,211	814	558	256	475	100
7	0,002	0,213	808	558	250	460	98
8		0,211	801	558	243	451	95
9		0,211	804	558	246	457	96
10		0,211	808	558	250	464	98
11		0,211	803	558	245	455	96
12		0,211	760	558	202	375	79
13		0,211	803	558	245	455	96
14	-0,131	0,080	651	558	93	456	36
Summe:		2,831	10835	7812	3023	418	1185
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]			0,05	rho [kg/m³]:	418	ww [kg/m²]:	21
Schnee 30.09.2017 (aus Messung 27. Sept 2017)			0,55	rho [kg/m³]:	325	ww [kg/m²]:	179
Schnee seit inkl. 01.05.2018:			0,28	rho [kg/m³]:	250	ww [kg/m²]:	69
						korrigiert:	957 kg/m²

Tab.6: Die Auswertung zu Schacht 2 bei der Begehung zur Messung der Winterbilanz am 5. Mai 2018.

Schacht S3: Mathias Dusch & Matthias Göbel, 05.05.2018							
GPS (WGS84, 32T)	RW: 624038	HW: 5147671	Alt: 2897	Pegel 12			
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
2,1	0,0285	0,211	0,00053842				
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
1		0,211	705	550	155	288	61
2		0,211	730	550	180	334	71
3		0,211	780	550	230	427	90
4		0,211	810	550	260	483	102
5		0,211	805	550	255	474	100
6		0,211	810	550	260	483	102
7		0,211	795	550	245	455	96
8		0,211	785	550	235	436	92
9		0,211	770	550	220	409	86
10	-0,054	0,157	725	550	175	437	69
Summe:		2,056	7715	5500	2215	422	868
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]			0,04	rho [kg/m³]:	422	ww [kg/m²]:	19
Schnee 30.09.2017 (aus Messung 27. Sept 2017)			0,32	rho [kg/m³]:	340	ww [kg/m²]:	109
Schnee seit inkl. 01.05.2018:			0,19	rho [kg/m³]:	288	ww [kg/m²]:	55
						korrigiert:	723 kg/m²

Tab.7: Die Auswertung zu Schacht 3 bei der Begehung zur Messung der Winterbilanz am 5. Mai 2018.

6.2 Die Schneehöhensondierungen vom 05.05.2018

Es folgen die Tabellen mit den Auswertungen zu den Schneehöhensondierungen welche im Zuge der Begehung am 05.05.2018 am Langenferner angelegt wurden. Einige Ausreißer wurden nicht berücksichtigt.

Nr.	ID	X UTM	Y UTM	Alt	prob ₁	prob ₂	prob ₃	Ext	SH	rho	b _{w_roh}	c _{s17}	c _{s18}	b _w
		[m]	[m]	[m a.s.l.]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kg/m ³]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[kg/m ²]
1	LGF07/17	624440	5147817	2759	82	85	86	120	204	431	881	56	51	774
2	LGF08/17	624418	5147708	2781	181	196	195	120	311	429	1333	70	52	1211
3	LGF09/17	624300	5147708	2829	127	125	120	120	244	427	1042	35	53	954
4	LGF10/17	624327	5147856	2773	129	123	121	180	304	428	1303	95	55	1153
5	LGF12/17	624187	5147621	2860	21	19	21	240	260	425	1106	102	54	950
6	LGF13a/11	623581	5147713	3052	103	100	110	180	284	420	1194	189	65	940
7	LGF14/17	623841	5147913	2960	70	65	62	240	306	420	1284	182	65	1037
8	LGF15/15	623553	5147842	3048	145	140	147	180	324	420	1361	189	70	1102
9	LGF16/15	623523	5147531	3076	60	65	60	120	182	418	759	166	60	533
10	LGF17/17	623692	5147413	3059	-10	-5	-20	120	108	418	453	65	60	328
11	LGF18/09	623397	5147671	3085	162	165	135	180	334	418	1396	163	78	1155
12	LGF20a/17	623272	5147223	3166	47	45	38	180	223	395	882	101	72	709
13	LGF20b/17	623356	5147231	3158	64	55	58	60	119	398	474	101	70	303
14	LGF21/15	623481	5147004	3222	50	50	52	60	111	390	432	114	65	253
15	LGF22/11	623223	5146874	3221	80	150	82	180	284	385	1093	137	75	881
16	LGF23/05	623879	5146700	3285	183	180	182	120	302	375	1131	202	78	851
17	LGF25/11	623637	5146318	3360	45	55	45	120	168	371	625	228	78	319
18	LGF27/15	623707	5147869	3006	80	85	92	240	326	420	1368	182	70	1116
19	LGF28/17	624132	5147752	2866	151	174	169	180	345	426	1468	99	55	1314
20	LGF29/17	623298	5147483	3111	71	70	65	180	249	418	1039	153	70	816
21	LGF30/09	623728	5146890	3256	137	137	142	60	199	375	745	101	78	566
22	LGF31/09	623205	5146527	3281	209	218	205	180	391	372	1453	176	85	1192
23	LGF32/17	623020	5146932	3246	153	147	130	300	443	400	1773	65	85	1623
24	LGF33/09	623312	5147838	3126	140	134	137	300	437	420	1835	153	73	1609
25	LGF34/11	623364	5147335	3129	100	90	90	180	273	405	1107	98	73	936
26	LGF35/17	623895	5147666	2930	138	128	122	180	309	422	1305	198	60	1047
27	b2	623718	5146272	3372	70	90	90	120	203	370	752	225	78	449
28	b3	623677	5146402	3352	115	120	110	120	235	370	870	220	80	570
29	b4	623799	5146441	3343	210	211	196	240	446	370	1649	215	90	1344
30	b5	623664	5146504	3329	210	207	215	120	331	366	1210	215	85	910
31	b6	623796	5146537	3322	52	51	40	240	288	368	1059	210	83	766
32	b7	623611	5146600	3297	218	210	220	120	336	368	1236	200	83	953
33	b8	623736	5146650	3291	185	180	220	240	435	370	1610	200	85	1325
34	b11	623633	5146752	3261	225	230	220	120	345	365	1259	195	83	981
35	b12	623778	5146787	3272	186	180	185	120	304	375	1139	195	80	864
36	b13	623978	5146773	3282	130	121	118	120	243	375	911	185	75	651
37	b14	624039	5146857	3282	120	120	119	120	240	375	899	180	75	644
38	b15	623887	5146849	3273	132	130	131	120	251	375	941	180	75	686
39	b17	623548	5146888	3237	92	91	88	120	210	378	795	135	78	582
40	b18	623441	5146822	3236	118	122	110	180	297	380	1127	150	78	899
41	b19	623660	5146990	3228	125	118	123	60	182	380	692	170	73	449
42	b21	623373	5146928	3227	10	25	25	180	200	385	770	125	75	570

Tab.8a: Sondierungen zur Winterbilanz 2017/18. Sondierungsnummer, Identifikation, Rechtswert, Hochwert, Seehöhe, die einzelnen Sondierungswerte (3 Spalten), Korrektur für Verlängerung, gemessene Schneehöhe, mittlere Dichte, unkorrigierter Bilanzwert, Korrektur für Sommerschnee 2017, Korrektur für Schnee seit 01.05.2018 und entsprechend korrigierter Winterbilanzwert für die Periode 01.10.2017 bis 30.04.2018. Die Sondierungen 1 bis 26 markieren Pegelstandorte (siehe ID).

Nr.	ID	X UTM [m]	Y UTM [m]	Alt [m a.s.l.]	prob ₁ [cm]	prob ₂ [cm]	prob ₃ [cm]	Ext [cm]	SH [cm]	rho [kg/m ³]	b _{w_roh} [kg/m ²]	c _{s17} [kg/m ²]	c _{s18} [kg/m ²]	b _w [kg/m ²]
43	b22	623268	5146993	3210	133	141	140	60	198	385	762	140	75	547
44	b23	623190	5147091	3193	207	207	210	60	268	390	1045	140	75	830
45	b24	623375	5147119	3175	160	150	165	60	218	385	841	125	72	644
46	b25	623517	5147145	3170	177	175	180	60	237	385	914	125	70	719
47	b30	623794	5147294	3070	100	102	105	120	222	410	912	110	70	732
48	b32	623589	5147397	3076	120	118	124	120	241	419	1008	130	68	810
49	b34	623267	5147604	3115	-20	-25	-20	300	278	420	1169	170	75	924
50	b35	623216	5147686	3143	75	70	65	300	370	422	1561	180	80	1301
51	b36	623253	5147809	3145	140	150	162	300	451	420	1893	180	75	1638
52	b38	623367	5147949	3102	215	219	218	180	397	420	1669	185	75	1409
53	b39	623412	5147806	3087	225	225	235	180	408	415	1695	185	80	1430
54	b40	623463	5147898	3057	163	165	162	180	343	420	1442	180	75	1187
55	b42	623624	5147785	3040	160	165	185	120	290	420	1218	185	70	963
56	b43	623632	5147926	3021	205	200	195	240	440	420	1848	190	75	1583
57	b44	623714	5147779	3012	105	90	85	240	333	420	1400	185	65	1150
58	b46	623764	5147936	2985	138	135	144	240	379	420	1592	185	75	1332
59	b47	623798	5147858	2978	70	154	105	240	350	420	1469	175	70	1224
60	b49	623871	5147887	2946	-2	-10	-5	240	234	420	984	180	60	744
61	b51	624206	5147700	2852	145	147	144	120	265	426	1130	80	54	996
62	b53	624257	5147795	2808	201	183	186	180	370	425	1573	90	55	1428
63	b54	624393	5147783	2771	135	135	140	120	257	430	1104	55	52	997
64	b57	624429	5147897	2739	84	84	95	180	268	430	1151	40	52	1059
65	b58	624502	5147865	2732	147	145	150	120	267	433	1158	20	50	1088
66	r02	623569	5146403	3342	2	3	10	180	185	369	683	220	80	383
67	r03	623535	5146509	3309	173	156	218	180	362	365	1323	215	85	1023
68	r04	623469	5146590	3278	140	139	140	180	320	370	1183	220	83	880
69	r05	623337	5146522	3279	88	82	100	180	270	368	994	210	80	704
70	r07	623323	5146627	3253	65	70	69	180	248	370	918	200	83	635
71	r08	623232	5146659	3246	139	136	133	180	316	372	1176	170	80	926
72	r09	623142	5146755	3237	180	200	186	180	369	375	1383	160	80	1143
73	r10	623309	5146788	3229	95	85	95	180	272	380	1032	150	75	807
74	r12	623138	5146971	3212	88	92	93	180	271	385	1043	140	75	828
75	r14	623072	5147055	3230	60	73	75	300	369	410	1514	80	85	1349
76	r15	623117	5147176	3217	177	172	185	300	478	400	1912	100	85	1727
77	r17	623196	5147319	3167	175	173	170	300	473	400	1891	170	80	1641
78	r19	623209	5147439	3129	122	95	90	180	282	410	1156	165	75	916
79	r21	623430	5147411	3102	52	55	107	180	251	419	1053	160	70	823
80	r24	623492	5147657	3069	78	102	80	180	267	418	1115	180	70	865
81	r25	623593	5147607	3048	17	12	22	180	197	420	827	160	60	607
82	r27	623724	5147636	3015	210	210	210	180	390	422	1646	190	60	1396
83	r28	623832	5147591	2966	25	23	15	180	201	422	848	190	60	598
84	r29	623953	5147547	2949	125	119	125	180	303	422	1279	120	55	1104
85	r30	624090	5147496	2917	198	198	201	180	379	419	1588	115	58	1415
86	r31	624038	5147581	2909	131	133	130	120	251	422	1061	110	55	896
87	r34	624199	5147510	2880	183	163	170	240	412	423	1743	120	60	1563
88	r36	624300	5147565	2841	57	88	19	240	295	425	1252	100	60	1092
89	r37	624263	5147626	2842	55	52	62	120	176	426	751	90	54	607
90	r40	624498	5147783	2753	58	25	118	120	187	431	806	35	52	719
91	ba1	623665	5147285	3080	175	180	180	240	418	405	1694	150	75	1469
92	p01	623521	5147294	3114	230	235	240	240	475	400	1900	180	80	1640
93	p12	623989	5147611	2920	55	63	71	180	243	422	1025	115	58	852

Tab.8b: Sondierungen zur Winterbilanz 2017/18. Sondierungsnummer, Identifikation, Rechtswert, Hochwert, Seehöhe, die einzelnen Sondierungswerte (3 Spalten), Korrektur für Verlängerung, gemessene Schneehöhe, mittlere Dichte, unkorrigierter Bilanzwert, Korrektur für Sommerschnee 2017, Korrektur für Schnee seit 01.05.2018 und entsprechend korrigierter Winterbilanzwert für die Periode 01.10.2017 bis 30.04.2018.

6.3 Protokolle der Ablesungen der Ablationspegel 2017/18

6.3.1 Pegelprotokoll 11 und 12.07.2018

Pegel	FEE	FEE neu	Altschnee	Neuschnee	Kommentar
LGF07/17			0	0	nicht abgelesen, FEE aus Ferne auf ca. 200 cm geschätzt
LGF08/17	350	350	0	0	
LGF08/18		-121	0	0	3x2, direkt bei altem Pegel neu gebohrt
LGF09/17	468	59	0	0	2 Segmente abmontiert
LGF09/18		29	0	0	5 x2, 6-7m oberhalb altem Pegel neu gebohrt
LGF10/17	207	207	0	0	
LGF11/17	291	291	0	0	in Abfluss (deswegen ca 25cm mehr Abl.)
LGF12/17	302	301	0	0	
LGF13a/11	?	28	20	0	altes FEE nicht messbar, da 2 der 3 Stangen im Aufeis eingefroren
LGF13a/18		18	0-10	0	4 x 2 neugebohrt an GPS-Position 2011
LGF16/15	587	171	0	0	2 Segmente abmontiert
LGF25/18		67	70-100	0	4 x2 neu gebohrt an GPS-Position 2011
LGF35/17	332	332	0	0	direkt unter Altschneegrenze
LGF36/18		119	70	0	2x2 in Altschnee neu gebohrt (Nähe 3 Kanonen)

Tab.9: Das Protokoll zu den Pegelablesungen am 11. und 12. Juli 2018.

6.3.2 Pegelprotokoll 22.08.2018

Pegel	FEE	FEE neu	Altschnee	Neuschnee	Kommentar
LGF07/17	520	520	0	0	
LGF08/18	196	196	0	0	
LGF09/18	343	343	0	0	
LGF10/17	515	98	0	0	2 Stangen entfernt
LGF11/17	593	593	0	0	
LGF12/17	593	183	0	0	2 Stangen entfernt
LGF13a/18	241	241	0	0	
LGF14/17	310	105	0	0	1 Stange entfernt
LGF15/15	540	107	0	0	2 Stangen entfernt
LGF15/18		81	0	0	
LGF16/15	416	6	0	0	2 Stangen entfernt
LGF16/18		68	0	0	
LGF17/17	472	472	0	0	
LGF18/09	684	57	0	0	3 Stangen entfernt
LGF20a/09	298	80	0	0	1 Stange entfernt
LGF20a/17	145	145	0	0	
LGF20b/17	459	50	0	0	2 Stangen entfernt
LGF21/15	633	8	0	0	3 Stangen entfernt
LGF21/18		82	0	0	
LGF22/11	590	173	0	0	2 Stangen entfernt
LGF22/18		88	0	0	
LGF23/18		106	0	0	2x2 Holz, neu gebohrt, mehrjähriger Firm
LGF24/18		94	0	0	2x2 Holz, neu gebohrt, mehrjähriger Firm
LGF25/18	227	227	0	0	
LGF27/15	815	204	0	0	3 Stangen entfernt
LGF27/18		80	0	0	
LGF28/17	268	268	0	0	
LGF29/17	246	246	0	0	
LGF30/09	645	23	0	0	3 Stangen entfernt
LGF31/09	244	244	0	0	gerade frei von Winterschnee
LGF32/17	485	273	0	0	1 Stange entfernt
LGF33/09	198	198	0	0	
LGF34/11	782	149	0	0	3 Stangen entfernt
LGF34/18		95	0	0	
LGF35/17	620	209	0	0	2 Stangen entfernt
LGF35/18		90	0	0	
LGF36/18	247	247	0	0	
LGF37/18		111	70	0	2x2 Holz, neu gebohrt, mehrjähriger Firm
LGF38/18		102	0	0	2x2 Holz, neu gebohrt, mehrjähriger Firm
LGF39/18		43	0	0	2x2 Holz, neu gebohrt

Tab.10: Das Protokoll zu den Pegelablesungen am 22. August 2018.

6.3.2 Pegelprotokoll 04.10.2018

Pegel	FEE	FEE neu	Altschnee	Neuschnee	Kommentar
LGF07/17	681	681	0		
LGF08/18	348	348	0		
LGF09/18	490	490	0		
LGF10/17	236	236	0		
LGF11/17	683	683	0		
LGF12/17	310	310	0		
LGF13a/18	327	327	0	5	
LGF14/17	221	221	0		
LGF15/15	179	179	0		
LGF15/18	154	154	0		
LGF16/15	91	91	0	14	
LGF16/18	148	148	0		
LGF17/17	545	545	0	4	
LGF18/09	152	152	0	34	
LGF20a/09	144	144	0		
LGF20a/17	194	194	0		
LGF20b/17	107	107	0		
LGF21/15	39	39	0	2	
LGF21/18	133	133	0	1	
LGF22/11	230	230	0	10	
LGF22/18	143	143	0	0	
LGF23/05	23	23	0	2	
LGF23/18	137	137	0	2	
LGF24/18	128	128	0	2	
LGF25/18	264	264	0	28	
LGF27/15	286	286	0		
LGF27/18	172	172	0		
LGF28/17			0	35	vor Schneefall gerade ausgeschmolzen
LGF29/17	308	308	0		
LGF30/09	73	73	0	2	
LGF31/09	278	278	0	5* + 1	*5 cm Schnee aus Ende Aug./Anf. Sept -> Rho = 400 kg/m³
LGF32/17	396	396	0	0	
LGF33/09	288	288	0		
LGF34/11	203	203	0		
LGF34/18	150	150	0		
LGF35/17	311	311	0	25	
LGF35/18	185	185	0	22	
LGF36/18	291	102	0	1	
LGF37/18	137	137	49	11	FEF -> Firn aus dem Winter 17/18, siehe Schacht.
LGF38/18	141	141	0	2	
LGF39/18	86	86	0	25	

Tab.11: Das Protokoll zu den Pegelablesungen am 04. Oktober 2018. Nur an Messpunkt 37 war Firn aus dem Vorwinter vorhanden. Es wurde neben dem Pegel ein Schneeschacht angelegt (siehe Kap. 6.4.1). Schnee aus dem Spätsommer 2018 konnte nur an Pegel 31 überdauern. Da der Schnee aus dem Oktober 2018 weder für die Bilanz 2018, noch für jene des Jahres 2019 relevant ist, wurde nicht an allen Messpunkten die Schneehöhe bestimmt.

6.4 Die Schneeschächte vom 04.10.2018

6.3.1 Schacht F1

F1: Stephan Galos & EURAC GLISTT Team							
GPS (WGS84, RW: 623624 HW: 5146536)				Alt: 3325			
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
73	0,0285	0,211	0,000538421				
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
1	-0,061	0,150	770	545	225	588	88
2	-0,131	0,080	719	545	174	852	68
3	0	0,211	778	545	233	433	91
4	0	0,211	778	545	233	433	91
5	-0,141	0,070	622	545	77	431	30
Gesamt:	-0,3	0,722	3667	2725	942	511	369
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]			0,01	rho [kg/m³]:	511	ww [kg/m²]:	4
Schnee 30.09.2017 ¹				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	210
Schnee seit inkl. 01.10.2018:				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	
						korrigiert:	163 kg/m²

Abstiche 4 und 5 wurden rekonstruiert aus Abstich 3 und der Beobachtung, dass sich die Schicht darunter bis zum Vorjahreshorizont extrem homogen darstellt
Geringe Dichte in diesen Schichten liegt an der dicken Eislinsie die ein Eindringen von Schmelzwasser in die unteren Schichten verhindert hat.
Auffallend: Trotz der inhomogenen Schichtung wieder mittlere Dichte von gut 500 kg/m³.

Tab.12: Die Auswertungen zum Firnschacht bei Punkt F1.

6.3.2 Schacht F2

F2: Stephan Galos & EURAC GLISTT Team							
GPS (WGS84, RW: 623727 HW: 5146611)				Alt: 3295			
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
91							
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
Gesamt:		0,910				510	464
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	0
Schnee 30.09.2017 ¹				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	210
						korrigiert:	254 kg/m²

Keine Dichtemessungen durchgeführt. Bilanz wurde aus gemessener Firntiefe und einer angenommenen Dichte von 510 kg/m³ berechnet.

Tab.13: Die Auswertungen zum Firnschacht bei Punkt F2.

6.3.3 Schacht bei Pegel 37/18

Pegel 37: Stephan Galos & EURAC GLISTT Team							
GPS (WGS84, RW: 623697 HW: 5146693)				Alt: 3279			
Tiefe [cm]	r= [m]	l= [m]	V= [m³]				
49	0,0285	0,211	0,000538421				
Abstich	Füll_korr [m]	Füllhöhe [m]	m [g]	offset [g]	m_korr [g]	rho [kg/m³]	ww [kg/m²]
1	0	0,211	820	545	275	511	108
2	0	0,211	810	545	265	492	104
Gesamt:		0,422	1630	1090	540	501	212
Korrekturen:							
Diff. gemessene Tiefe - Summe der Abstiche [m]			0,07	rho [kg/m³]:	501	ww [kg/m²]:	34
Schnee 30.09.2017 ¹				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	195
Schnee seit inkl. 01.10.2018:				rho [kg/m³]:		ww [kg/m²]:	
						korrigiert:	51 kg/m²

ca. 10cm Oktoberschnee, vor Messungen entfernt. Schachttiefe bezieht sich nur auf Firn

Tab.14: Die Auswertungen zum Firnschacht bei Pegel 37.

7 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 Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris, 2011.
- Galos, S. Peter, 2017 (a): The Mass Balance of Langenferner / Vedretta Lunga 2016. doi:10.1594/PANGAEA.884487. <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.884487>. (Datenpublikation).
- Galos, S. P., 2017 (b): The Mass Balance of Langenferner / Vedretta Lunga 2017. doi:10.1594/PANGAEA.884486 <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.884486> (Datenpublikation).
- Galos, S.P., Klug, C., Prinz, R., Rieg, L., Sailer, R., Dinale, R., and Kaser, G.(2015): Recent glacier changes and related contribution potential to river discharge in the Vinschgau / Val Venosta, Italian Alps, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 38, 143–154, doi:10.4461/GFDQ.2015.38.13.
- Galos, S. P., Klug, C., Maussion, F., Covi, F., Nicholson, L., Rieg, L., Gurgiser, W., Mölg, T., and Kaser, G.: Reanalysis of a 10-year record (2004–2013) of seasonal mass balances at Langenferner/Vedretta Lunga, Ortler Alps, Italy, *The Cryosphere*, 11, 1417-1439, <https://doi.org/10.5194/tc-11-1417-2017>, 2017.
- Hoinkes, H. (1970): Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Ergebnisse der Messreihe Hintereisferner (Öztaler Alpen) 1953-1968, *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 6 (1-2), 37–90.