OUTPUT

GLISTT

Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol

universität innsbruck

eurac research

BEVÖLKERUNGSSCHUTZ PROTEZIONE CIVILE

Interreg
Italia-Österreich
European Regional Development Fund

EUROPEAN UNION

GLISTT

Autoren:
Agentur für Bevölkerungsschutz, Autonome Provinz Bozen – Roberto Dinale, Stefano Benetton
Eurac Research – Claudia Notarnicola, Mattia Callegari, Daniela Dellantonio, Riccardo Barella
Universität Innsbruck – Rudolf Sailer, Christof Klug, Stephan Galos, Hannah Tussetschläger
Übersetzung Italienisch-Deutsch: Rudi Nadalet
Grafik: Elisabeth Aster, Eurac Research
Druck: Tipografia Druso
Foto: Archiv der Projektpartner; Cover: iStock/Tom

Der Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur unter Angabe der Quelle gestattet: Verschiedene Autoren, Interreg ITAT2025 GLISTT – Abschlussbericht

2021 © Universität Innsbruck / Eurac Research / Agentur für Bevölkerungsschutz, Autonome Provinz Bozen

”

Der Gletscherschwund ist keine neue Erscheinung. Im vergangenen Jahrhundert ist die Temperatur in den Alpen um zwei Grad angestiegen. Die Folgen sind unübersehbar. Die Gletscher führen uns den Klimawandel deutlich vor Augen. Alle Prognosen gehen davon aus, dass Ende dieses Jahrhunderts in Südtirol kaum noch Gletscher bestehen werden.

Der Rückzug der Gletscher hat gravierende Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Fließgewässer. Deshalb gilt es, die zentrale Bedeutung für ihren Schutz noch stärker in das gesellschaftliche Bewusstsein zu heben. Dieses Anliegen hat sich das Interregionale Projekt Glacier Inventory South Tyrol - Tyrol GLISTT angenommen.

Einen wichtigen Teil bildete die Ausstellung mit dem Titel „Goodbye Glaciers“ in grenzüberschreitender Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern Universität Innsbruck, Eurac Research und Agentur für Bevölkerungsschutz mit dem Landesamt für Natur, in dessen Naturparkhäusern die Ausstellung neben anderen Orten Platz gefunden hat.

Wenn sich das Projekt nun dem Ende entgegen neigt, so gilt dies keinesfalls für das Anliegen. Für die vor uns liegenden Aufgaben bilden die mit traditionellen Gletschermessprogrammen in Verbindung mit modernen Fernerkundungsdaten neu gewonnenen Erkenntnisse die Grundlagen für einen wichtigen Auftrag: Alles in unseren Kräften Stehende zu tun, um zur Verlangsamung des Klimawandels beizutragen.

Dr. Klaus Unterweger
Direktor der Agentur für Bevölkerungsschutz in Bozen-Südtirol

”

Die Gletscher der Ostalpen sind eigentlich keine Gletscher mehr, sagt der Glaziologe Georg Kaser, als Folge des Klimawandels sind nur noch Eisflächen übrig. Die Alpengletscher sind insofern ein ideales Forschungsobjekt, um die globalen Auswirkungen des Klimawandels auf Natur und Gesellschaft zu untersuchen.

Dieser Aufgabe hat sich auch das Interreg-Projekt GLISTT gewidmet, das in den vergangenen vier Jahren unter Federführung der Universität Innsbruck ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol etabliert hat. Dabei wurden auch die Auswirkungen auf die Qualität und Quantität der alpinen Wasserressourcen, die für weite Teile Europas eine lebenswichtige Grundlage sind, untersucht. Wesentlich dafür war die Verknüpfung traditioneller Gletschermessverfahren mit modernsten Fernerkundungstechnologien.

Dank der guten und konstruktiven Zusammenarbeit der Projektpartner und der jeweiligen Administrationen leistet dieses Projekt einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis des Gletscher- und Klimawandels in den Alpen. Für die vor uns stehenden Aufgaben zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels bilden diese wissenschaftlich fundierten Erkenntnisse eine wichtige Grundlage.

Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Tilmann Märk
Rektor der Universität Innsbruck

”

Als Limnologe weiß ich, dass 75% aller Seen dieser Erde glazialen Ursprungs sind, es ist also klar, woher die allermeisten meiner Forschungsobjekte stammen. Deshalb beobachte ich die seit 30 Jahren rasch steigende Zahl an neu entstehenden Hochgebirgsseen am Rande schmelzender Gletscher mit einer gewissen Faszination, da man heute jene Vorgänge und Kräfte, die zu Beginn des Holozäns wirkten, wie in einem Zeitraffer studieren kann. Ich sehe diese Prozesse mit einem lachenden Auge als Seenforscher, gleichzeitig jedoch mit einem weinenden Auge als Bergsteiger, da es sich bei der Gletscherschmelze nicht nur um Phasenveränderungen des Wassers handelt, sondern auch das Landschaftsbild schwindet, das ich in meiner Jugend kennengelernt habe. Mehr noch, mit den Gletschern ist die Kryosphäre, der von Organismen bewohnter kalte Lebensraum, weltweit auf dem Rückzug, und wir wissen nicht einmal, was uns dabei an Biodiversität und Ökosystemleistungen verloren geht.

GLISTT hat diese Vorgänge nicht nur dokumentiert, sondern auch deren Auswirkungen untersucht, die jenseits der physikalischen, hydrologischen oder geomorphologischen Wahrnehmung liegen und unsere psychologischen Zustandsänderungen beschreiben. Meta-Glaziologie, mit einem Wort, was mich wieder auf das Wasser bringt, das in vielen Ländern bereits zum beherrschenden Thema geworden ist. Die Gletscher als die augenscheinlichen Indikatoren des Klimawandels werden damit zu Vorboten seiner zu erwartenden schwerwiegenden Folgen.

Vielleicht ist bei aller Nostalgie und Klage über schwindende Gletscher ein Blick in die Frühphase des Holozäns hilfreich, als die ersten Bewohner des Landes einen fast eisfreien Lebensraum vor sich hatten, der sich erst zur Zeit von Ötzi wieder in jenen Zustand verwandelte, den wir bis 19.9.1991 – als der Eismann aus dem Gletscher aus dem Gletscher auftauchte – als nahezu unverändert wahrgenommen hatten. Meta-Glaziologie eben, oder „die Gletscher als Lehrmeister“. Wir sind, so hoffe ich, gelehrige Schüler.

Prof. Dr. Roland Psenner
Präsident von EURAC Research

1. GLISTT, Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol

DAS PROJEKT

GLISTT ‚Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol' ist eines von Interreg V-A Italien-Österreich 2014-2020 in der Prioritätsachse ‚Natur und Kultur' mit rund € 621.000,-- gefördertes Projekt. Mit nationalen Förder- und institutionellen Eigenmittelbeiträgen stehen dem Projekt € 770.000,-- zur Verfügung. Das spezifische Ziel der Prioritätsachse, Natur und Kultur' ist der Schutz und Inwertsetzung des Natur- und Kulturerbes. Es war ein Anliegen der Projektpartner Universität Innsbruck, EURAC Research und Agentur für Bevölkerungsschutz der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol die Gletscher Südtirols und Tirols als ein in der Vergangenheit wie auch heute mit besonderen Emotionen verbundenes Naturerbe in den Vordergrund zu rücken und auf Basis von historischen Archiven sowie aktuellen Inventaren die teils beträchtlichen Veränderungen zu dokumentieren und mögliche zukünftige Entwicklungen aufzuzeigen.

DATEN DES PROJEKTES	
Operatives Programm	Interreg V-A Italien-Österreich 2014-2020
Projektnummer	ITAT2025
Maßnahme	2.6c.4 Schutz und Inwertsetzung des Natur- und Kulturerbes
Akronym des Projekts	GLISTT
Projekttitel (it)	Un sistema interregionale di monitoraggio dei ghiacciai per la regione Alto Adige-Tirolo Projekttitel
Projekttitel (de)	Ein interregionales Gletschermonitoringkonzept für die Region Südtirol-Tirol

Tabelle 1: Daten des GLISTT Projektes und Beschreibung des Förderprogrammes.

	GEBIET	BEZEICHNUNG BEGÜNSTIGTER (IT)	BEZEICHNUNG BEGÜNSTIGTER (DE)
LP	TIR	Università di Innsbruck	Universität Innsbruck
PP1	BLZ	Eurac Research	Eurac Research
PP2	BLZ	Agenzia per la protezione civile	Agentur für Bevölkerungsschutz

Tabelle 2: Projektpartner.

	EU-MITTEL (EFRE)	NATIONALE FÖRDERUNG	EIGENMITTEL	GESAMTKOSTEN
LP	222.587,36 €	0,00 €	39.280,13 €	261.867,49 €
PP1	200.049,94 €	35.302,94 €	0,00 €	235.352,88 €
PP2	198.687,50 €	35.062,50 €	41.250,00 €	275.000,00 €
Gesamt	621.324,80 €	70.365,44 €	80.530,13 €	772.220,37 €

Tabelle 3: Kostenaufstellung des Projektes.

Der vorliegende Bericht soll den Leser*innen die Ideen des GLISTT-Projektes näherbringen, indem aufgezeigt wird, wie wertvoll die historischen Fotodokumente sowohl für die Bewusstseinsbildung als auch für die Analyse von Veränderungen im Hochgebirge – insbesondere für die Gletscherveränderungen – sind. Die damit verbundenen Highlights werden im Abschnitt **‚Ein melancholischer Blick auf Südtirols und Tirols Gletscher: Goodbye Glaciers'** präsentiert. Mittlerweile haben sich Generationen von Naturforschern und im speziellen Glaziologen mit dem Monitoring und der Inventarisierung von Gletschern beschäftigt. Ohne Zweifel kann festgehalten werden, dass sowohl in der Vergangenheit als auch in der Gegenwart die Beobachtung, Inventarisierung und Erforschung der Gletscher im Untersuchungsgebiet Meilensteine in der Gletscherforschung hervorgebracht haben. Die Bedeutung der Inventare und der dafür entwickelten Monitoringverfahren wird im Kapitel **‚Festhalten, was festzuhalten ist: Ein Nachlass für kommende Generationen'** vor Augen geführt. Wenn von Meilensteinen in der Erforschung von Gletschern die Rede ist, sind in erster Linie wissenschaftliche Neuerungen und technische Errungenschaften dafür verantwortlich. Im Kapitel **‚Erforschen, was erforscht werden kann: Ein Beitrag zum Verständnis des Gletscher- und Klimawandels in den Alpen'** wird auf die neuesten im Projekt eingesetzten Technologien und Methoden eingegangen.

2. Ein melancholischer Blick auf Südtirols und Tirols Gletscher: Goodbye Glaciers

Der fortschreitende Vereisungsrückgang unseres Planeten ist der unmittelbarste und eindeutigste Beweis für die globale Erwärmung. Die Beachtung der Veränderungen der Kryosphäre und der Morphologie des Hochgebirges ist daher von grundlegender Bedeutung, und zwar aus wissenschaftlicher Sicht, um die laufenden Phänomene und ihre Folgen zu verstehen, aus politischer Sicht, um die notwendigen Gegenmaßnahmen und Anpassungsstrategien zu planen, und nicht zuletzt, um korrekte Informationen zu vermitteln und das Bewusstsein für die Notwendigkeit eines globalen Handelns zu schärfen, das den neuen Generationen die Hoffnung auf eine nachhaltige Zukunft gibt. Aus diesem Grund und wegen der Aufmerksamkeit, die die Verwaltungsbehörde des Kooperationsprogramms Interreg V-A Italien-Österreich diesen Aspekten widmen wollte, wurde im Rahmen des GLISTT-Projekts die fotografische Wanderausstellung Goodbye Glaciers konzipiert.

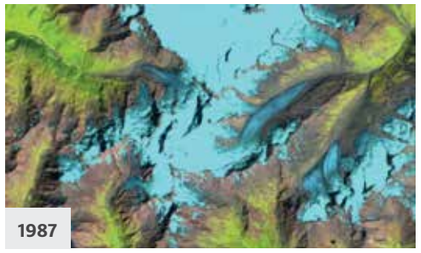
Abbildung 1: Erstellungsphase der Ausstellung "Goodbye Glaciers" und Reproduktionskampagne historischer Fotos im Sommer 2018.

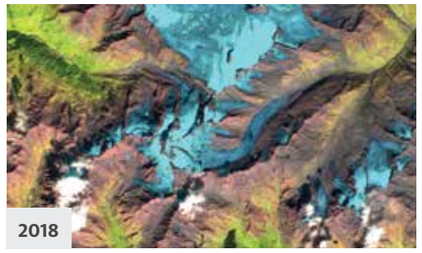
Highlight der Ausstellung sind zweifelsohne die fotografischen Vergleiche, die den Rückgang der Gletscher und die Auswirkungen des Klimawandels besser als alle anderen Daten beschreiben. Dank umfangreicher Archivrecherchen konnten zahlreiche Fotos von Gletschern in Südtirol und Tirol aus dem späten 19. und frühen 20. Jahrhundert gesammelt werden, also aus der Zeit unmittelbar nach der größten Ausdehnung der Gletscher während der Kleinen Eiszeit. Der Großteil des Materials stammt aus den Archiven des Österreichischen Alpenvereins, des italienischen Alpenvereins (CAI) und des italienischen Glaziologischen Komitees. Die Arbeit in einigen Privatarchiven war sehr mühsam, dafür aber umso erfüllender, denn es konnte Bildmaterial gefunden werden, das sonst in Vergessenheit geraten wäre, wie zum Beispiel die Glasplatte von 1881, die den Grubferner und den Lodnerferner zeigt und einem Sammler aus Meran gehört. Das älteste stammt vom österreichischen Fotografen Gustav Jägermayer und zeigt die Dreiherrenspitze am Eingang des Ahrntals mit dem Äusseren Lahnerkees und dem Prettaukees im Jahr 1863.

Eine Auswahl dieser Bilder diente als Referenz für die Aufnahmen, die 2018 gemacht wurden, mit dem Ziel, dieselben Blickwinkel und Bildausschnitte zu reproduzieren. Die Vergleiche sind gnadenlos und **viele Gletscher sind heute nicht wiederzuerkennen, so dass sie das Gemüt der mehr als 20.000 Besucher, die die Ausstellung gesehen und genossen haben, zutiefst berührt haben.** Zu den ausgestellten Fotos gehören auch Satellitenaufnahmen, die ein überaus nützliches Instrument zur Erdbeobachtung darstellen. Die Technologie ist inzwischen dermaßen ausgereift, dass solche Bilder Informationen von vergleichbarer Qualität wie die traditionellen Land- und Luftaufnahmen bieten. Die Fotos der Ausstellung können über die Website des GLISTT-Projekts heruntergeladen werden, wo auch Informationen zum Urheberrecht und zu den Nutzungsbedingungen zu finden sind.

Gletscher des Martelltals

Wilder Freiger-Ferner (Grünauferner)





Gletscher der Ötztaler Alpen

Abbildung 2: Auswahl von ausgestellten fotografischen Vergleichen.

Der Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung wird auch durch ergänzende Ausstellungsexponate verdeutlicht, zu denen verschiedene Instrumente zur Messung von Klimavariablen sowie zahlreiche Fundstücke und Gegenstände gehören, die das glaziale und periglaziale Umfeld und seine jüngsten Veränderungen charakterisieren.

Abbildung 3: Kulissen, Installationen, Eröffnungsveranstaltungen und Besucherbuch, die die Ausstellung und deren gute Resonanz dokumentieren.

Das Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius zu begrenzen, damit zumindest ein Teil der Gletscher in den Alpen bis zum Ende des Jahrhunderts überleben kann, ist die Botschaft, welche die Besucher nach dem Gang durch die Ausstellungsräume mitnehmen. Zwischen Juni 2019 und Dezember 2020 gastierte die Ausstellung in 8 Städten und Tourismusorten im Projektgebiet und hat nun für weitere drei Jahre über die Projektdauer hinaus im „Museum Magie des Wassers“ in Lappach im Mühlwalder Tal ein Zuhause gefunden. Im vergangenen Winter hätte sie auch in der Euregio-Zentrale in Brüssel ausgestellt werden sollen, aber die Pandemie machte dieses prestigeträchtige Unterfangen unmöglich.

Um die Gletscher im grenzüberschreitenden Projektgebiet kontinuierlich und in Echtzeit beobachten zu können, wurden im Rahmen von GLISTT fünf Foto-Webcams installiert, die die Gletschergebiete überwachen sollen. Diese Daten können auch über die Projektwebsite abgerufen werden.

Abbildung 4: Langenferner Foto-Webcam-Installation und Aufnahme am Übeltalferner.

Die Öffentlichkeitsarbeit des GLISTT-Projekts wurde durch weitere öffentliche Veranstaltungen ergänzt. Zu nennen sind insbesondere der Stakeholder-Workshop in Sterzing und die für wissenschaftliche Kreise ausgerichtete Konferenz im Ultental anlässlich der schmerzlichen Entscheidung, die Messkampagnen auf dem Weißbrunnferner wegen seines fortschreitenden Zerfalls auszusetzen. Die Abschlussveranstaltung des Projekts zur Präsentation der Ergebnisse fand am 24. November 2021 in Bozen statt.

Abbildung 5: Stakeholder-Workshop in Sterzing am 20. April 2018 (oben) und Konferenz "Der Weissbrunn versiegt" am 20. und 21. September 2018 (unten).

3. Festhalten, was festzuhalten ist: Ein Nachlass für kommende Generationen

Während die Alpengletscher im Laufe der Kleinen Eiszeit (13. Jahrhundert bis Mitte des 19. Jahrhunderts) noch beobachtet wurden, weil ihre Vorstöße oder damit einhergehende Naturgefahrenphänomene wie Gletscherseeausbrüche eine Bedrohung für den Menschen und seinen Siedlungsraum darstellten, sind heute ganz andere Interessen mit dem Monitoring von Gletschern verbunden. Die Fotodokumente, die unter anderem auch im Rahmen der GLISTT Ausstellung ‚Goodbye Glaciers' gezeigt wurden, zeigen eindrücklich, welche enormen Wandel die Hochgebirgslandschaften durch die Schmelze der Eismassen in den letzten Jahrzehnten erfahren mussten. Diese dramatische Entwicklung rückt die Gletscher sowohl aus wissenschaftlicher als auch gesellschaftlicher Sicht mehr und mehr in den Vordergrund.

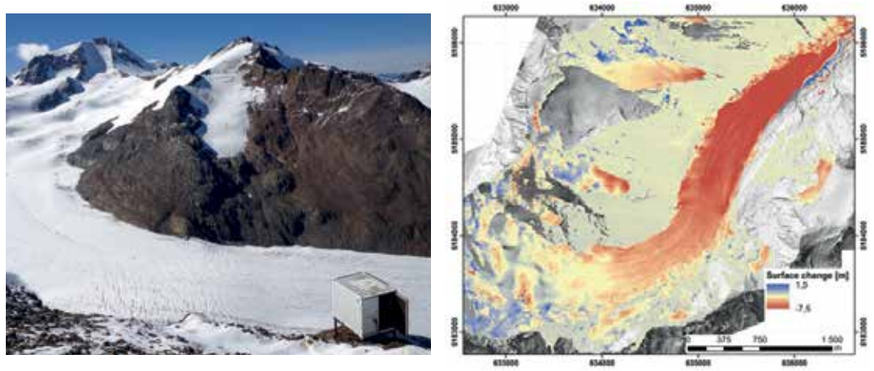
Unter diesem Gesichtspunkt hat sich das Projekt GLISTT zum Ziel gesetzt, ein länderübergreifendes Gletscherinventar zu erstellen bzw. die bereits existierenden Gletscherinventare zu aktualisieren. Innerhalb von Work Package 4 - "Monitoring der Gletscher im gesamten Untersuchungsgebiet" wurden die Gletscheränderungen in Fläche, Volumen und Masse mit modernsten Verfahren auf Basis von Laserscanaufnahmen, Orthophotos und Satellitenbildern erfasst, quantifiziert und inventarisiert. Der Vergleich der aktuellen Inventaraufnahme mit den bereits bestehenden Inventaren führt die bemerkenswerten Massenverluste vor Augen (vergleiche Tabelle 4 und Tabelle 5). Sowohl in Nord- als auch Südtirol beträgt der mittlere Flächenverlust, welchen die Gletscher in etwas weniger als eineinhalb Jahrzenten erfahren haben, fast 20%. In nur drei Regionen Südtirols und nur einer Region Nordtirols wird dieser Wert unterschritten. Die geringste Veränderung der Gletscherfläche kann für den Südtiroler Teil der Stubaier Alpen (13 %) ausgewiesen werden. Sowohl in Nord- als auch in Südtirol sind die Zillertaler Alpen mit 20 % respektive 30 % Spitzenreiter in Bezug auf den Flächenverlust.

REGION SÜDTIROL	FLÄCHE SGI 16/17 [KM²]	FLÄCHE SGI 05 [KM²]	ΔA (16/17-05) [%]
Ortler-Cevedale	34,8 (2016)	60,6	-14,3
Ötztaler Alpen	18,7 (2016)	22,9	-18,3
Texel Gruppe	3,8 (2016)	4,8	-10,8
Stubaier Alpen	9,4 (2016)	10,8	-13,0
Zillertaler Alpen	8,5 (2017)	12,2	-30,3
Riesenferner Gruppe	5,4 (2017)	7,5	-28,0
Hohe Tauern	3,4 (2017)	4,8	-29,2

Tabelle 4: Flächenvergleich der Gletscherinventare für die Region Südtirol (SGI) der Jahre 2005 (SGI 05) und 2016/17 (SGI 16/17).

REGION NORDTIROL	FLÄCHE NGI 17/19 [KM²]	FLÄCHE NGI 06 [KM²]	ΔA (17/19-06) [%]
Ostalpen	46,86 (2019)	61,02	23,2
Ötztaler Alpen (nur Rofental)	36,15 (2019)	45,08	-19,8
Zillertaler Alpen	11,52 (2017)	13,78	-16,4

Tabelle 5: Flächenvergleich der Gletscherinventare für die Region Nordtirol (NGI) der Jahre 2006 (NGI 06) und 2017/19 (NGI 17/19) (ΔA gibt die prozentuale Veränderung der Fläche an).



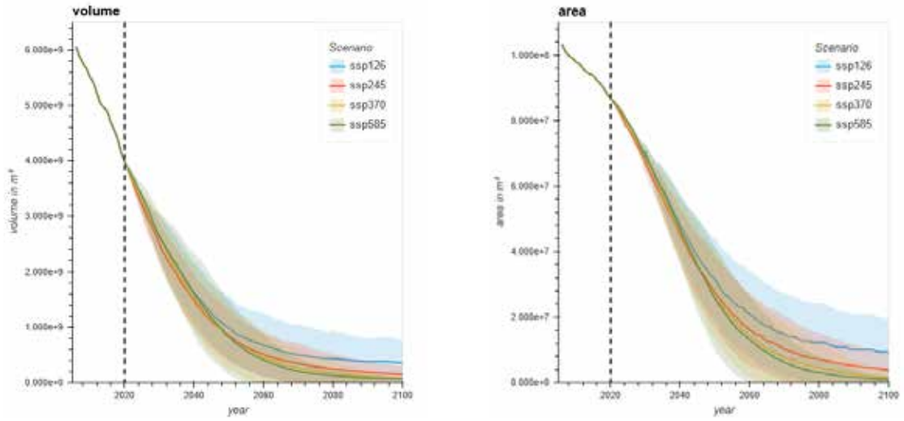


Abbildung 7: Volumen- und Flächenprojektion der Gletscher bis 2100 auf Basis von vier verschiedenen Klimaszenarien. Für diese Projektionen wurden vier unterschiedliche sogenannte ‚Shared Socioeconomic Pathways (SSP)' herangezogen (SSP1, SSP2, SSP3 und SSP5). Diese unterscheiden sich unter anderem in den zu erwartenden Treibhausgasemissionen bis 2100 und wurden für den nächsten IPCC Bericht 6 entwickelt.

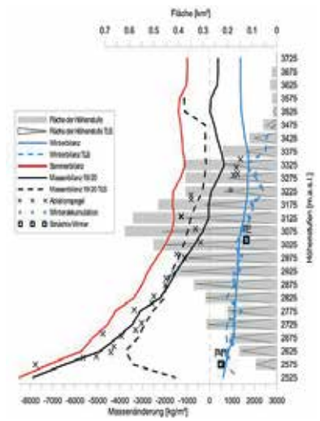


Abbildung 6: Station ‚im Hinteren Eis' mit einem permanent stationierten Laserscanner und der geodätischen Auswertung der Laserscanndaten. Oben links: Station ‚im Hinteren Eis' mit Blick auf den Hintereisferner, die Weißkugel und die Langtauferspitz; oben rechts: Differenzmodell auf Basis zweier Laserscanaufnahmen; mitte: Laserscanbild des Untersuchungsgebietes; unten: vertikales Bilanzprofil Hintereisferner 2019/20 mit Felddaten wie Ablationspegel- und Schneeschachtwerten.

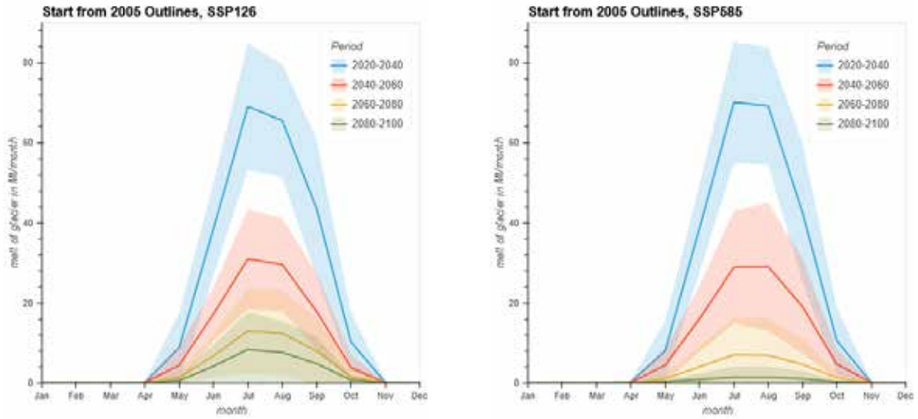


Abbildung 8: Abflussprojektion bis 2100 der Gletscher auf Basis von zwei verschiedenen Klimaszenarien. Für diese Projektionen wurden vier unterschiedliche sogenannte ‚Shared Socioeconomic Pathways (SSP)' herangezogen (SSP1, SSP2, SSP3 und SSP5). Diese unterscheiden sich unter anderem in den zu erwartenden Treibhausgasemissionen bis 2100 und wurden für den nächsten IPCC Bericht 6 entwickelt.

Durch den Einsatz modernster Fernerkundungsverfahren und basierend auf den Inventardaten konnten geodätische Massenbilanzen einer Vielzahl ausgewählter Gletscher für die Periode 2005-2016/2017 berechnet werden (vergleiche Abbildung 6). Gletscherinventare, wie das hier vorgestellt, bieten auch die Basis dafür, einen Blick in die Zukunft zu werfen und Szenarien der weiteren Gletscherentwicklung und damit auch den zukünftigen Beitrag der Gletscher zum hydrologischen Kreislauf entwickeln zu können. Mithilfe des Open Global Glacier Models (OGGM) wurden Projektionen der Gletscher- und Abflussentwicklung von heute bis ins Jahr 2100 für die gesamte GLISTT-Region entworfen (vergleiche Abbildung 7 und Abbildung 8). Alle Szenarienberechnungen deuten auf einen anhaltenden Flächen- und Massenverlust der Gletscher im Untersuchungsgebiet hin, was wiederum zu einer massiven Einschränkung des Gletscherbeitrages am hydrologischen Kreislauf nach sich zieht. **Es ist mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts nur mehr weniger als ein Zehntel der aktuellen Wasserspende aus Gletscherschmelze zur Verfügung stehen wird.**

Es ist zu erwarten, dass während der Phasen massiven Rückgangs in den hochgelegenen Regionen des Untersuchungsgebietes mit instabilen geomorphologischen Verhältnissen zu rechnen ist. Auch zur Analyse dieser Veränderungen konnten im Projekt Inventardaten genutzt als auch neue Daten erhoben werden. So wurden die multi-temporalen Fernerkundungsdaten herangezogen, um Oberflächenveränderungen zu untersuchen, die auf Naturgefahren, wie Muren, Felsstürze und Rutschungen zurückzuführen sind. Dadurch können an Schnittstellen von glazialen/periglazialen Gebieten und menschlicher Infrastruktur wie Gletscherschigebiete, Verkehrswege, Hüttenzustiege oder Wanderrouten, Änderungen erfasst werden, welche mit dem Gletscherwandel in Zusammenhang stehen. Im Sommer 2020 kam es zu einem großen Murgang an der Zunge des Hintereisferners, welcher einen beliebten Zustieg zur Weißkugel komplett verschüttete. Dieser Murgang, der beispielhaft für eine Vielzahl ähnlicher Ereignisse dient, konnte mit Hilfe modernster Laserscantechnologien wie einem terrestrischen Laserscanner in Verbindung mit einer Laserscandrohne detailliert untersucht werden (vergleiche Abbildung 9). **Es ist sehr wahrscheinlich, dass in den nächsten Jahrzehnten aufgrund der intensiven Veränderung durch die Gletscherschmelze vermehrt geomorphologische Instabilitäten in den Gletschervorfeldern der Untersuchungsregion auftreten. Nach Phasen partieller Destabilisierung kann es durch eine Stabilisierung des Untergrundes zu einer Verbesserung der Situation kommen. Diese mögliche Stabilisierung wird zeitlich und räumlich differenziert erfolgen.**

Auf Basis dieser im GLISTT-Projekt durchgeführten und den Gletscherinventaren aufbauenden Analysen können sowohl die Folgen für den Naturraum als auch die sozio-ökonomischen Auswirkungen analysiert und abgeschätzt werden, wodurch Entscheidungsträgern ein Instrumentarium für die Planung zukünftiger Maßnahmen zur Verfügung steht.

Um den verfügbaren technischen und wissenschaftlichen Entwicklungen Rechnung tragen zu können, wurde im Projekt ein innovatives Konzept zum operativen, überregionalen Monitoring vergletscherter Flächen unter spezieller Berücksichtigung der Bedürfnisse von Stakeholdern im Bereich Hydrologie, Naturgefahren, Energiewirtschaft, Landwirtschaft und Tourismus entwickelt. Dieses Konzept berücksichtigt einerseits die bestehenden Gletschermessprogramme in der Region, andererseits werden die detaillierten, direkt gemessenen Daten an einzelnen Gletschern mit modernen Fernerkundungsdaten von allen Gletschern des Untersuchungsgebietes kombiniert, um ein ganzheitliches Bild der aktuellen Gletscheränderungen zu erhalten. Durch die Integration frei verfügbarer zeitlich und räumlich hochaufgelöster Satellitendaten wird ein operationelles Monitoring entwickelt, welches kontinuierlich Daten für Entscheidungsträger und Anwender in den betroffenen Sektoren liefern kann (vergleiche Abbildung 10).

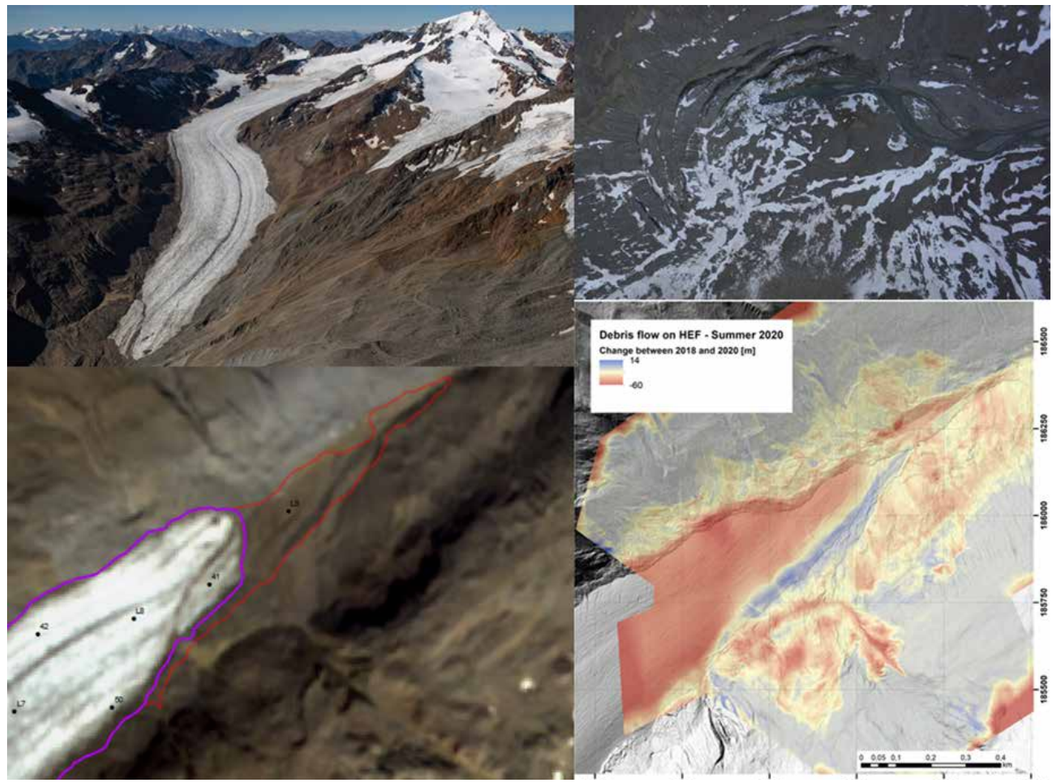


Abbildung 9: Murgang an der Zunge des Hintereisferners im Sommer 2020 und erste Analysen. Links oben ist eine Luftaufnahme vom Hintereisferner zu sehen. Rechts ist ein Detailausschnitt der Mure, welche die Zunge des Hintereisferners erreicht hat, gezeigt. Unten sind die Auswertungen aus den Laserscanndaten gezeigt – links: Abgrenzung der Gletscher- (violett, Hintergrundbild: Sentinel 2) und Murschuttflächen (rot); rechts: Differenzbild aus Laserscannaufnahmen.

Kernpunkt des Konzeptes ist die Koppelung traditioneller Gletschermessverfahren mit modernsten Fernerkundungstechnologien. In der ersten Phase (Jahre 1 bis 5) sollen die modernsten Monitoring Methoden angewandt und verifiziert werden, um den zukünftigen operativen Einsatz des Konzeptes gewährleisten zu können.

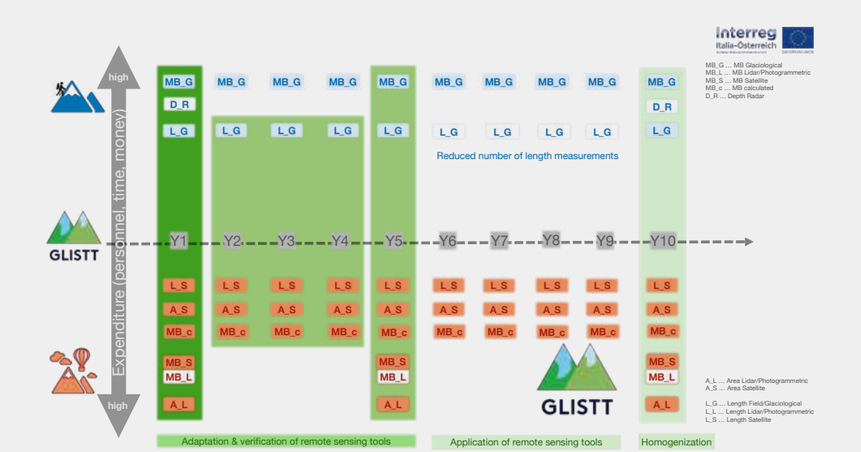


Abbildung 10: Konzeptchart der ersten Periode des Gletschermonitoringkonzepts. Y1 bis Y10 sind die Jahre 1 bis 10 der Monitoring Periode. Der obere Teil des Entwurfs zeigt alle glaziologischen Maßnahmen und der untere Teil die Fernerkundungsanwendungen. Der Pfeil zeigt einen Anstieg der geschätzten Aufwände in beide Richtungen an.

4. Erforschen, was erforscht werden kann: Ein Beitrag zum Verständnis des Gletscher- und Klimawandels in den Alpen

Im Jahr 2014 startete die Europäische Weltraumorganisation (ESA) ein innovatives Erdbeobachtungsprogramm, das aus der Sentinel-Satellitenfamilie besteht. Seit dem Jahr 2017 sind vier Satelliten voll einsatzfähig. Das Satellitenpaar Sentinel-1 und Sentinel-2 ist für die Überwachung der Alpengletscher von großem Interesse. Insbesondere die beiden Sentinel-2-Satelliten liefern multispektrale optische Bilder, die den sichtbaren und infraroten Teil des elektromagnetischen Spektrums abdecken (vergleiche Abbildung 11), mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 10 Metern und einer Wiederholungszeit von mindestens 5 Tagen an jedem Punkt der Erdoberfläche. Die beiden Sentinel-1-Satelliten hingegen verfügen über einen Radarsensor, der mindestens alle sechs Tage Informationen über jeden Punkt der Erdoberfläche mit einer Auflösung von 20 Metern erfassen kann.

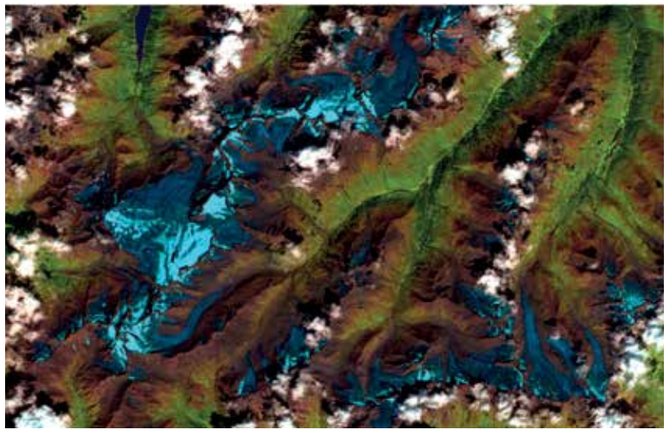


Abbildung 11: Beispiel für ein Sentinel-2-Bild, das über den Gletschern der Ötztaler Alpen aufgenommen wurde (17. August 2018). Durch die Aufnahme des Bildes in verschiedenen Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums können wir besser zwischen Schnee, Eis und Wolken unterscheiden. Bei dieser Falschfarbendarstellung werden insbesondere der sichtbare und der Infrarotkanal verwendet.

Im Rahmen des GLISTT-Projekts haben wir neue Methoden für die Verarbeitung und Extraktion von Informationen aus dieser neuesten Generation von Satellitendaten entwickelt, zu denen der Zugang völlig kostenlos ist. Mit Hilfe von Techniken der künstlichen Intelligenz, die auf die Bildanalyse angewandt werden, sind die entwickelten Verfahren vollautomatisch. Durch die Nutzung der Eigenschaften der Sentinel-2-Satelliten sind wir nun in der Lage, die Veränderungen der Schneedecke auf den Alpengletschern innerhalb einer Sommersaison genau zu verfolgen. Dies ermöglicht einerseits für jedes Jahr ein Bild aller Gletscher in der Periode ihrer maximalen Ablation und andererseits einen konsistenten und konstanten Vergleich des Zustands der Gletscher von Jahr zu Jahr (Abbildung 12).

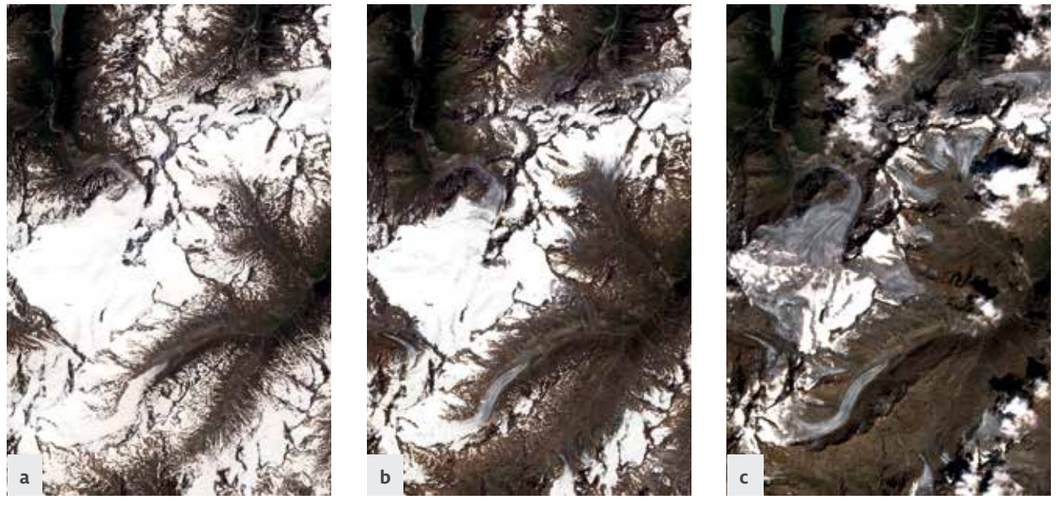


Abbildung 12: Gletscher in den Ötztaler Alpen, die von Sentinel-2 zu verschiedenen Zeitpunkten während der Sommersaison 2018 beobachtet wurden: 16. Juni (a), als die Gletscher noch fast vollständig mit Schnee bedeckt waren; 13. Juli (b), als das Eis im unteren Teil des Gletschers zu wachsen begann; 17. August (c) während der maximalen Ablation der Gletscher, die fast vollständig mit Schnee bedeckt waren.

Die Radardaten von Sentinel-1 ergänzen diese Art von Informationen, indem sie zwei überaus interessante Eigenschaften für die Überwachung der Alpengletscher mitbringen: 1) Das Radarsignal durchdringt Wolken, die daher für den auf dem Satelliten montierten Sensor unsichtbar sind. Bei anhaltender Bewölkung über längere Zeiträume hinweg können die Radarbilder daher auch die Entwicklung der Schneedecke auf den Gletschern aus der Vogelperspektive zeigen. 2) Dank einer speziellen Datenverarbeitung, d.h. durch Interferometrie, können die Sentinel-1-Radardaten Oberflächenbewegungen erkennen (Abbildung 13). Diese Eigenschaft wird für die Kartierung von schuttbedeckten Gletschern genutzt, die auf den uns vertrauten optischen Bildern nur schwer zu erkennen sind. Mit Schutt bedeckte Gletscher bewegen sich in der Regel ebenfalls hangabwärts und sind daher auf Sentinel-1-Radarbildern leicht zu erkennen.

Abbildung 13: Beispiel für ein interferometrisches Kohärenzbild aus Sentinel-1-Bildern, die in der Sommersaison 2016 in den Ötztaler Alpen aufgenommen wurden. Je mehr der Grauton des Bildes ins Schwarze tendiert (geringe interferometrische Kohärenz), desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine Oberflächendeformation, z. B. durch eine Gletscherbewegung hangabwärts, beobachtet wird.

5. Was uns bewegt: Eine kurze Zusammenfassung

EIN MELANCHOLISCHER BLICK AUF SÜDTIROLS UND TIROLS GLETSCHER: GOODBYE GLACIERS

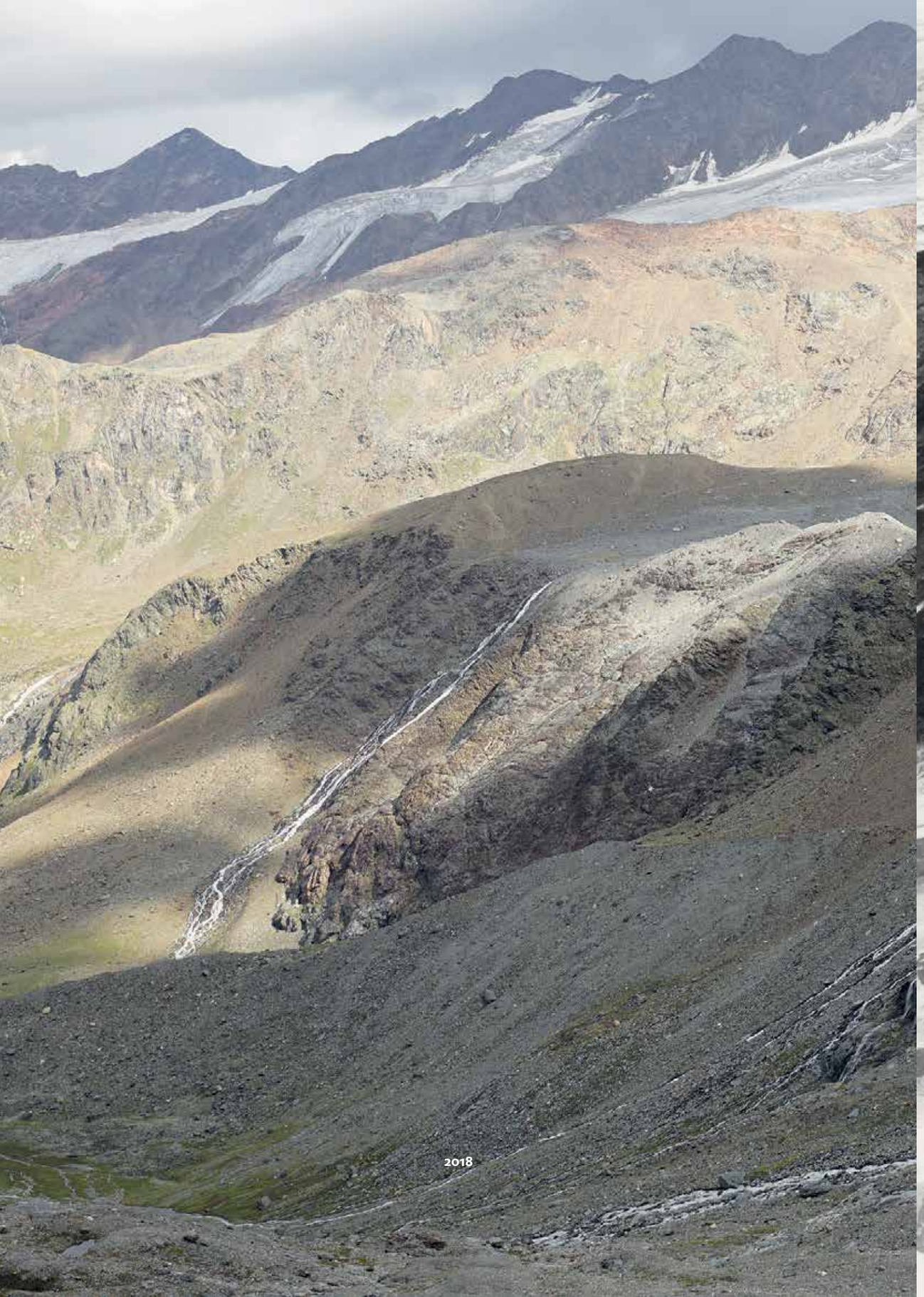
Die fortschreitende Entgletscherung unseres Planeten ist der unmittelbarste und eindeutigste Beweis für die globale Erwärmung. Die Aufmerksamkeit auf die Veränderungen in der Kryosphäre und in der Morphologie der Hochgebirge zu lenken, ist daher unerlässlich, um korrekte Informationen zu vermitteln und das Bewusstsein für die Notwendigkeit globaler Maßnahmen zu schärfen, die den neuen Generationen die Hoffnung auf eine nachhaltige Zukunft geben. Die Fotoausstellung “Goodbye Glaciers”, die auf einer Reihe von Vergleichsfotos basiert, zeigte die Unterschiede zwischen dem Zustand der Gletscher auf dem Höhepunkt ihrer jüngsten Ausdehnung vor nur 100-150 Jahren und der heutigen Situation auf, berührte das Bewusstsein der Besucher und regte sie an, aktiv zum Kampf gegen den Klimawandel beizutragen. Ziel ist es, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad Celsius zu begrenzen (nach dem jüngsten IPCC-Bericht 1,5 Grad Celsius), damit zumindest ein Teil der Gletscher in den Alpen bis zum Ende des Jahrhunderts überleben kann. Um die Auswirkungen unserer Maßnahmen zu messen, haben wir repräsentative Gletscher im Untersuchungsgebiet unter die Lupe genommen. Diese Webcams sind ein Instrument, um die Ziele der globalen Klimaagenda im Auge zu behalten, zu denen jeder beitragen kann.

FESTHALTEN, WAS FESTZUHALTEN IST: EIN NACHLASS FÜR KOMMENDE GENERATIONEN

Der im Zeitraum von gut einem Jahrzehnt durchschnittliche mit modernsten Methoden gemessene Flächenverlust der Gletscher im Untersuchungsgebiet hat im Mittel mit fast 20% ein überdurchschnittlich hohes Niveau erreicht. Es ist mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts nur mehr weniger als ein Zehntel der aktuellen Wasserspende aus Gletscherschmelze zur Verfügung stehen wird. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in den nächsten Jahrzehnten aufgrund der intensiven Veränderung durch die Gletscherschmelze vermehrt geomorphologische Instabilitäten in den Gletschervorfeldern der Untersuchungsregion auftreten. Nach Phasen partieller Destabilisierung kann es durch eine Stabilisierung des Untergrundes zu einer Verbesserung der Situation kommen. Diese mögliche Stabilisierung wird zeitlich und räumlich differenziert erfolgen. Ein Konzept zum regionalen Gletschermonitoring wurde entwickelt. Kernpunkt des Konzeptes ist die Koppelung traditioneller Gletschermessverfahren mit modernsten Fernerkundungstechnologien. In der ersten Phase (Jahre 1 bis 5) sollen die modernsten Monitoring Methoden angewandt und verifiziert werden, um den zukünftigen operativen Einsatz des Konzeptes gewährleisten zu können.

ERFORSCHEN, WAS ERFORSCHT WERDEN KANN: EIN BEITRAG ZUM VERSTÄNDNIS DES GLETSCHER- UND KLIMAWANDELS IN DEN ALPEN

Die technologische Entwicklung im Bereich der Erdbeobachtung aus dem Weltraum hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Auch im Bereich der Gletscherüberwachung ist es daher sehr wichtig, neue Techniken zu entwickeln, um diese neuen Daten optimal nutzen zu können. Insbesondere sind Satellitendaten das einzige Instrument, das in der Lage ist, homogene Informationen über die Erdoberfläche über große Gebiete mit zeitlicher Regelmäßigkeit zu liefern. Für die regionale Gletscherüberwachung sind diese Daten daher von grundlegender Bedeutung. Im GLISTT-Projekt wurden neue Techniken entwickelt, die durch die Nutzung von Multispektral- und Radarsatellitendaten eine jährliche Aktualisierung des Zustands der Gletscher auf regionaler Ebene zulassen. Insbesondere sind dadurch sowohl flächenmäßige Veränderungen von Gletschern, einschließlich des von Schutt bedeckten Teils des Eises, als auch jahreszeitliche Entwicklung der Schneedecke möglich.


2018

1930