

# Berge im Wandel – das Potenzial von Crowdsourcing für ein verbessertes Umweltmonitoring

R. Leierer, A. Massacand, J. Noetzi,  
M. Huss

Naturgefahren wie Lawinen, Hanginstabilitäten, Murgänge oder Fluten können in der Schweiz grosse Schäden anrichten. Viele dieser Gefahren stehen in Zusammenhang mit den klimatisch bedingten Veränderungen im hochalpinen Bereich. In den letzten Jahrzehnten wurde ein allgemeiner Rückgang der Gletscher und der Schneebedeckung sowie eine Erwärmung des Permafrosts beobachtet. Dies hat nicht nur direkten Einfluss auf die Entwicklung der oben genannten Naturgefahren, sondern auch auf die Wasserkraftnutzung, den Tourismus und die Infrastruktur im Hochgebirge. Anpassungen an diese Veränderungen erfordern ein umfassendes Verständnis der ablaufenden Prozesse und entsprechende Grundlagendaten sind dafür von zentraler Bedeutung. Die nationalen Beobachtungsprogramme für Gletscher und Permafrost in den Schweizer Alpen, GLAMOS und PERMOS, spielen eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung dieser Informationen, verfügen jedoch oft nicht über ausreichende In-situ-Informationen in Echtzeit, um das zeitnahe Monitoring weiterzuentwickeln.

*En Suisse les dangers naturels tels que avalanches, instabilités de talus, coulées de boues ou flots peuvent causer de gros dégâts. Beaucoup de ces dangers sont en liaison avec les changements climatiques dans la région des hautes Alpes. Ces dernières décennies un recul général des glaciers et de la couverture neigeuse ainsi qu'un réchauffement du permafrost ont été observés. Cela n'a pas seulement une influence directe sur le développement des dangers naturels précités mais également sur l'exploitation des forces hydrauliques, le tourisme et les infrastructures en haute montagne. Les adaptations à ces changements exigent une compréhension globale du déroulement des processus et les données de base y relatives sont d'importance centrale. Les programmes nationaux d'observation pour les glaciers et le permafrost dans les Alpes suisses GLAMOS et PERMOS jouent un rôle essentiel pour la mise à disposition de ces informations mais ne disposent souvent pas d'informations in-situ suffisantes en temps réel pour permettre un développement rapide du monitoring.*

In Svizzera i pericoli naturali come le valanghe, i pendii instabili, le colate detritiche o le piene possono essere fonte di ingenti danni. Molti di questi pericoli sono correlati ai cambiamenti climatici nelle regioni di alta montagna. Negli ultimi decenni si è osservato un ritiro generale dei ghiacciai e del manto nevoso nonché un surriscaldamento del permafrost. Tutto ciò influisce direttamente non solo sui potenziali pericoli naturali succitati ma anche sull'utilizzazione della forza idrica, sul turismo e sulle infrastrutture in alta montagna. L'adattamento a questi cambiamenti presuppone una comprensione approfondita dei processi in corso e, di conseguenza, è fondamentale disporre dei relativi dati di base. I programmi nazionali di osservazione dei ghiacciai e del permafrost GLAMOS e PERMOS svolgono un importante ruolo nell'approntamento di informazioni; tuttavia, presentano delle lacune a livello di dati locali e in tempo reale per un monitoraggio continuo e attualizzato.

In dieser Studie wird aufgezeigt, wie Crowdsourcing mittels der Plattform MountainNow als eine Form der gesellschaftlichen Einbindung in aktuelle Forschungsvorhaben zu den bestehenden Beobachtungsprogrammen in der Schweiz beitragen kann. Die durch das Crowdsourcing erhobenen Beobachtungen lassen sich hierbei grundsätzlich in zwei Kategorien unterscheiden: (i) quantitative Beobachtungen, die direkt in die bestehenden Überwachungsprogramme einfließen können, wie z. B. Messungen der Schneehöhe oder Gletscherschmelze; und (ii) qualitative Beobachtungen wie Fotos, die zwar wertvolle Informationen über den Zustand von Gletschern oder Permafrost liefern können, aber nicht direkt in die Datenstruktur der Messnetze integriert werden können. Eine im Sommer 2021 initialisierte Crowdsourcing-Kampagne resultierte in einen ersten, statistisch auswertbaren Datensatz. Hierbei waren nur ca. 10 % der gesammelten Daten quantitativ und damit direkt nutzbar. Um aber mit der grossen Anzahl qualitativer Beobachtungen einen Mehrwert für GLAMOS und PERMOS zu erreichen, sind Weiterentwicklungen in der automatisierten Extraktion von Informationen aus z. B. Fotografien oder Textbeiträgen notwendig.

## Rahmenbedingungen für eine Datenerhebung über Crowdsourcing

Das Wissen über Veränderungen in den hochalpinen Bereichen erfordert fundierte Kenntnisse und Grundlagendaten (Beniston et al. 2018). Letzteres wird in der Schweiz über die bestehenden In-situ-Messnetze von GLAMOS (Schweizer Gletschermessnetz) und PERMOS (Schweizer Permafrostmessnetz) sichergestellt, ist aber in der zeitlichen und räumlichen Abdeckung limitiert (Noetzi & Pellet 2021, Huss et al. 2017). Eine Möglichkeit, um

zusätzliche Daten zum aktuellen Zustand der Kryosphäre (d. h. Schnee, Gletscher und Permafrost) zu erhalten, ist die Einbindung der Gesellschaft über sogenannte Citizen Science-Ansätze (z. B. Crumley et al. 2021, Belingheri & Milza 2018, Criscuolo et al. 2013). Unter Berücksichtigung der Einschränkungen dieser Ansätze (vgl. Kosmala et al. 2016, Lukyanenko et al. 2014) wurde im Rahmen des Projektes «POC21 – Harnessing the Power of Crowdsourcing for Mountain Monitoring» evaluiert (unter Leitung von MountainNow/One Earth Sàrl und kofinanziert durch das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz im Rahmen von GCOS Schweiz), was das Potenzial von Crowdsourcing als ergänzende Datenquelle für die Schweizer Messnetze GLAMOS und PERMOS ist. Dies erfolgte primär über die Crowdsourcing-Plattform MountainNow ([https://](https://www.mountainow.net/en/)

[www.mountainow.net/en/](https://www.mountainow.net/en/)), die über eine Smartphone-App jeder Person eine strukturierte und kategorisierte Aufnahme von Beobachtungen in Echtzeit ermöglicht. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf Personen, die zum Bergsteigen und Wandern oft in den Bergen unterwegs sind und somit die Basis für das Crowdsourcing bilden. Dabei sollen sowohl professionelle Gruppen wie der Schweizer Bergführerverband oder die Hüttenwarte/-wirtinnen als auch interessierte Laien angesprochen werden. Ein entsprechend hinterlegtes Datenbankmanagementsystem mit aufgesetztem Analysetool ermöglicht hierbei die semi-automatisierte Qualitätskontrolle der erhobenen Daten, deren Visualisierung und Auswertung. Als zusätzliche Informationsquellen wurden Karteninformationen über die potenzielle Permafrostverbreitung in der Schweiz (Hinweiskarten des BAFU sowie des SLF) sowie die

täglich aktualisierten Schneehöhen (basierend auf Auswertungen durch ExoLabs GmbH – <https://www.exolabs.ch/>) in die Plattform integriert.

In einem ersten Schritt erfolgte durch die wissenschaftlichen Ausschüsse von GLAMOS und PERMOS die Identifikation und Definition relevanter und über Crowdsourcing zu erhebender Variablen, um den Zustand von Gletschern und alpinem Permafrost zu beschreiben. Die operativen Messungen im Rahmen der Überwachungsprogramme werden für ausgewählte Variablen und für eine begrenzte Anzahl an Landformen oder Standorten durchgeführt, an denen längere Zeitreihen (> 10 Jahre) erhoben werden können. Auch wenn Crowdsourcing das Potenzial hat, zusätzliche Variablen, zeitnähere Beobachtungen und eine breitere geografische Abdeckung zu liefern, so sind allein schon die technischen Spezifikatio-

GLAMOS	Beschreibung	Dokumentation
Ablation ( <i>quantitativ</i> )	Aufsuchen der Pegelstangen/Massenbilanzstangen, welche zum Messen der Ablation auf verschiedenen Gletschern vorhanden sind, optimaler Zeitraum Juni–September	– Ablesen/Messung des aktuellen Pegelstandes – Foto der Pegelstange mit sichtbarer Skala – genaue Position und Zeit der Aufnahme (automatisch via Smartphone)
Schneetiefe ( <i>quantitativ</i> )	Schneehöhenmessungen auf Gletschern mit z. B. Lawinsonden, optimaler Zeitraum November–Juni (mit hoher Priorität für den Zeitraum April/Mai)	– Messung der aktuellen Schneehöhe – genaue Position und Zeit der Aufnahme
Gletschergefahren ( <i>qualitativ</i> )	Beobachtungen von Eislawinen und/oder Gletscherseen bzw. Gletscherseeausbrüchen (inkl. Spuren bereits stattgefundener Prozesse), wobei auch ein mögliches Gefahrenpotenzial erfasst werden kann, optimaler Zeitraum: ganzjährig	– Foto und Beschreibung des Ereignisses bzw. von Spuren bereits stattgefundener Prozesse (z. B. Eislawinenablagerung) – genaue Position und Zeit der Aufnahme
Gletscherfotografie ( <i>qualitativ</i> )	Dokumentation des Zustands des Gletschers mittels Fotografie (z. B. aktuelle Schneebedeckung, mögliches Gefahrenpotenzial, Potenzial von Zeitreihenanalysen usw.), optimaler Zeitraum: Juni–September	– Foto des Gletschers oder eines Teiles davon – genaue Position und Zeit der Aufnahme
PERMOS		
Fotografie von Landschaften in Verbindung mit Permafrost ( <i>qualitativ</i> )	Direkte Messungen/Beobachtungen von Permafrost und seinem Zustand über Crowdsourcing sind schwierig (Permafrost ist unsichtbar), dementsprechend sind indirekte Variablen (z. B. Schneebedeckungsdynamik und -muster) und beschreibende Beobachtungen notwendig, Priorität liegt auf Regionen > 2500 m. ü. M, optimaler Zeitraum: ganzjährig (bei Schneebedeckung Priorität Winter & Frühjahr)	– Überblickfotos von PERMOS-Stationen, Blockgletschern und der Schneeverteilung – Fotos und Beschreibung von sichtbarem Boden-/Grundeis – genaue Position und Zeit der Aufnahme
Instabilitäten im Zusammenhang mit Permafrost ( <i>qualitativ</i> )	Beobachtungen von Felsstürzen aus Permafrostgebiet mit einem Volumen > ca. 1000 m <sup>3</sup> (inkl. Spuren bereits stattgefundener Ereignisse), optimaler Zeitraum: ganzjährig	– Foto und Beschreibung von Prozessen bzw. von Spuren bereits stattgefundener Prozesse – Beschreibung der Anrisszone und der betroffenen Region (räumliche Ausmasse) – genaue Position und Zeit der Aufnahme

Tab. 1: Definition der für das Crowdsourcing geeigneten Variablen und deren Erhebung.

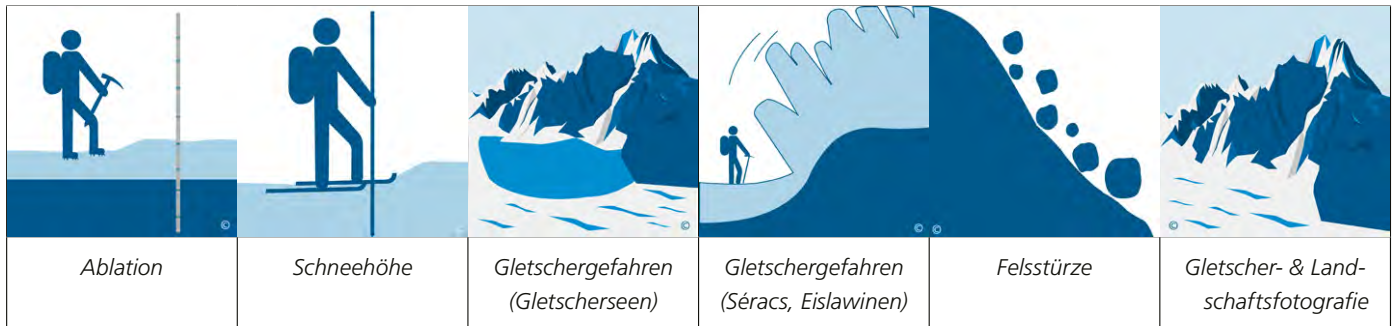


Abb. 1: Symbole in der MountainNow Smartphone-App und Website, um die für GLAMOS und PERMOS relevanten Variablen strukturiert erfassen und entsprechend in der Datenbank ablegen zu können (©MountainNow).

nen der Beobachtungen stark limitierend: Die Messungen/Beobachtungen der definierten Variablen müssen vergleichsweise einfach und schnell zu erheben sein, keine Abhängigkeit von speziellen Messgeräten aufweisen (d. h. im optimalen Fall nur über das Smartphone erfolgen können) und natürlich für die Beobachtungsprogramme relevant sein. Darüber hinaus sollten die Beobachtungen möglichst automatisiert in ein strukturiertes Datenformat transformiert werden, um sowohl die Integration in die GLAMOS- und PERMOS-Datenbanken zu ermöglichen als auch eine effiziente Qualitätskontrolle und Interpretation zu gewährleisten. Für die Beobachtung des Zustandes von Gletschern wurden vier und für die Permafrostbeobachtung zwei Variablen definiert. Im Rahmen der Spezifikationen wurden zudem detaillierte zusätzliche Angaben zu den zu meldenden Variablen erfasst, wie zum Beispiel bezüglich der Positionsangabe (klar definiert oder frei), dem Zeitpunkt der Beobachtungen und die jeweilige Dokumentationsform der Beobachtung (vgl. Tabelle 1).

Um diese Variablen strukturiert über die Crowdsourcing-Plattform erheben zu können, musste eine intuitive und leicht anwendbare Methodik für die Nutzer und Nutzerinnen entwickelt werden. Dies erfolgte über die Integration einer sich selbsterklärenden Symbolik (vgl. Abb. 1) in der MountainNow Smartphone-App und unterstützenden Tutorials (<https://www.mountainow.net/en/intro/tutorial-videos/>) mit Beispielen der Datenerfassung.

Basierend auf diesen Vorüberlegungen wurde ein Dashboard entwickelt, welches

auf dem operativen, cloudbasierten Geodienst Rheticus (<https://www.rheticus.eu/>) aufbaut und neben der Interoperabilität eine massgeschneiderte grafische Benutzeroberfläche (GUI) bietet, um eine schnelle und einfache Abfrage/Analyse der erhobenen Daten zu ermöglichen. Über einen gesicherten Zugang können dann autorisierte Nutzer und Nutzerinnen Einblicke in die Daten erhalten, die Qualität der Daten beurteilen und die jeweils relevanten Informationen extrahieren. Die Basisfunktionen des Dashboards beinhalten unter anderem: (i) Filter-Optionen, (ii) semi-automatisierte Qualitätskontrollen, (iii) Überlagerung von zusätzlichen Kartenlayern sowie (iv) Download der Beobachtungsdaten (Abb. 2). Im Rahmen des POC21-Projektes wurde über den Sommer 2021 eine Mess-/Beobachtungskampagne initialisiert, mit dem Ziel, eine repräsentative Datengrundlage zu erhalten, um die Funktionalität der entwickelten Methodik und das grundsätzliche Poten-

zial der erhobenen Daten evaluieren zu können.

## Resultate und Diskussion

Im Rahmen der Mess-/Beobachtungskampagne wurden 138 Beobachtungen zu den von GLAMOS und PERMOS definierten Variablen über die Crowdsourcing-Plattform erfasst (Abb. 3).

Die Überführung der Beobachtungen in eine validierte Informationsebene und in eine integrierbare Datenbankstruktur konnte effizient und mittels eines für die operationelle Anwendung geeigneten Prozessablaufes umgesetzt werden. Von den so erhobenen Beobachtungen waren ca. 10 % quantitativ und konnten direkt ausgewertet werden, während es sich bei den restlichen für GLAMOS oder PERMOS potenziell relevanten Beiträgen um qualitative Beobachtungen handelt. Die quantitativen Messungen wurden hierbei primär durch Personen mit Bezug zu den



Abb. 2: Beispiel für die Dashboard-Anwendung im Hinblick auf Datenmanagement und Datenauswertung im Rahmen des POC21-Projektes.



Abb. 3: Beispielbeobachtungen, die über die Smartphone-App erhoben wurden: Dokumentation einer Eislawine (links), Foto eines Massenbilanzpegels (Mitte) und Zustandsfoto eines Gletschers (rechts).

Überwachungsprogrammen durchgeführt und weniger durch interessierte Laien. Bei den qualitativen Beiträgen war ein Grossteil der Beobachtungen mit Fotografien ergänzt, die zum Teil neben der primären thematischen Ebene (z.B. Abbildung eines Gletschers) auch Interpretationen über weitere Kryosphärenvariablen (z.B. Anzeichen für Permafrostvorkommen) erlaubten. Etwa ein Drittel der gesammelten Beobachtungen wurde im Rahmen der anschliessenden Evaluation durch GLAMOS und PERMOS als «gut» und für die ergänzende Überwachung der Kryosphäre nutzbar eingestuft. Grundsätzlich ist hierbei zu erwähnen, dass die Anzahl der gesammelten Beobachtungen für eine abschliessende, statistisch aussagekräftige Auswertung noch nicht ausreichend ist. Im Rahmen des Projektes sollten vor allem die Funktionalität und Methodik evaluiert werden. In den darauf aufbauenden Arbeiten wird nun der Fokus auf die Sensibilisierung und Aktivierung der Zielgruppen gelegt. Dabei können aus den bisherigen Daten die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

(1) Die meisten der über den Sommer gesammelten Beobachtungen waren qualitativ. Dies entspricht den Erwartungen, da die Erhebung von wissenschaftlich verwendbaren Messwerten anspruchsvoll ist und häufig Kenntnisse und entsprechende Ausrüstung voraussetzt, wie z. B. Schneesonden.

Dementsprechend werden durch die meisten Nutzer und Nutzerinnen ohne direkten Bezug zur wissenschaftlichen Datenerfassung qualitative Beobachtungen beigesteuert. Durch die Entwicklung und Verbreitung von nutzerfreundlichen Anleitungen, in denen das Vorgehen für einfache und zuverlässige Messungen beschrieben wird und in Kombination mit einer Sensibilisierung, warum dies für die Wissenschaft und die Gesellschaft wichtig ist, könnte der Anteil der quantitativen Messungen aber deutlich erhöht werden.

(2) Permafrost und die damit verbundenen Anzeichen an der Oberfläche sind für die meisten Menschen weniger geläufig im Vergleich zur Gletscherthematik und ist auch von Auge nicht sichtbar. Auch grössere Felsstürze und Murgänge, die im Rahmen von PERMOS dokumentiert werden, sind eher seltene Ereignisse. Dies erschwert die Nutzung von Crowdsourcing für die Permafrostbeobachtung. Auch hier könnten Anleitungen zur Datenerfassung und allgemein bessere Informationen über Vorkommen und Bedeutung von Permafrost für eine breitere Sensibilisierung in der Bevölkerung führen und somit den Anteil an für PERMOS relevanten Beobachtungen erhöhen.

(3) Die qualitativen Beobachtungen (insbesondere die Fotografien) enthalten viele Informationen, die für GLAMOS und PERMOS von hoher Relevanz sind

(z. B. aktuelle Schneebedeckung, Art und Datum Instabilitäten im Felsen oder Gletschereis). Die automatisierte Extraktion dieser Informationen aus dem Bildmaterial ist aber eine grosse Herausforderung, da neben der räumlichen Verortung (Georeferenzierung) der Information auch die Identifikation der jeweiligen Variablen erfolgen müsste. Dies könnte in einem ersten Schritt für die fest installierten Kamerasysteme (z. B. Webcams) im Rahmen möglicher Folgeprojekte umgesetzt werden.

## Ausblick

Die vorliegende Studie zeigt, dass Crowdsourcing als unterstützendes Tool der Datenerhebung für die Gletscher- und Permafrostbeobachtung ein hohes Potenzial aufweist, da eine beträchtliche Anzahl Personen im Gebirge unterwegs ist. Darüber hinaus besteht auch in der Gesellschaft ein grosses Interesse an der Einbindung der Bevölkerung in die aktuelle Forschung. So beteiligten sich neben Forschungsinstitutionen in und ausserhalb der Schweiz auch Industriepartner und gemeinnützige Organisationen an dem Projekt. Das Ergebnis des Projektes zeigt, dass das Potenzial von Crowdsourcing erst dann voll ausgeschöpft werden kann, wenn (i) eine kritische Masse an Beobachtungen mit einem hohen Anteil quantitativer Beobachtungen vorliegt und (ii) Methoden für die automatisierte Extraktion von Variablen aus den qualitativen Beobachtungen integriert werden. Mit diesen Ansätzen könnte der nächste Schritt erfolgen, um Crowdsourcing zu einem integralen Bestandteil moderner Überwachungsnetze werden zu lassen. In diesem Zusammenhang führt Mountain Now aktuell in dem Horizon 2020 Programm e-shape (e-shape/home) ein Pilotprojekt durch, um mittels Citizen Science einen Beitrag zum Katastrophenschutz in Bergregionen zu leisten.

## Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

für die Finanzierung des Projektes im Rahmen von GCOS Schweiz. Danke auch an alle Nutzerinnen und Nutzer, die sich aktiv an der Beobachtungskampagne beteiligt und die Umsetzung der Projektziele damit ermöglicht haben. Die im Rahmen des Projekts und insbesondere der Beobachtungskampagne gesammelten Daten stehen allen Forschungseinrichtungen im In- und Ausland kostenlos zur Verfügung. Anfragen für den Zugang zu diesen Daten können an [info@mountainow.net](mailto:info@mountainow.net) gerichtet werden.

## Literatur:

Belingheri, P. & F. Milza (2018). Icking: A platform combining sustainable tourism and citizen science on glaciers. Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2018-October.

Beniston, M., Farinotti, D., Stoffel, M., Andreassen, L. M., Coppola, E., Eckert, N., Fantini, A., Giacona, F., Hauck, C., Huss, M., Huwald, H. & M. Lehning (2018). The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *Cryosphere*, 12 (2), 759–794.

Criscuolo, L., Pepe, M., Seppi, R., Bordogna, G., Carrara, P. & F. Zucca (2013). Alpine glaciology: An historical collaboration between volunteers and scientists and the challenge presented by an integrated approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2 (3), 680–703.

Crumley, R.L., Hill, D.F., Wikstrom Jones, K., Wolken, G.J., Arendt, A.A., Aragon, C.M., Cosgrove, C. & Community Snow Observations Participants (2021): Assimilation of citizen science data in snowpack modeling using a new snow data set: Community Snow Observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25 (9), 4651–4680.

Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R. S., Clague, J.J., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D.R., Greenwood, G., Mark, B.G. & A.M. Milner (2017). Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future*, 5 (5), 418–435.

Kenner, R., Noetzli, J., Hoelzle, M., Raetzo, H. & M. Phillips (2019). Distinguishing ice-rich and ice-poor permafrost to map ground temperatures and ice content in the Swiss Alps. *The Cryosphere*, 13, 1925–1941.

Kosmala, M., Wiggins, A., Swanson, A. & B. Simmons (2016). Assessing data quality in ci-

tizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14 (10), 551-560.

Lukyanenko, R., Parsons, J. & Y.F. Wiersma (2014). The IQ of the crowd: Understanding and improving information quality in structured user-generated content. *Information Systems Research*, 25 (4), 669–689.

Noetzli, J. & C. Pellet (eds.) (2021). PERMOS 2021. *Swiss Permafrost Bulletin 2019/2020*. DOI: 10.13093/permos-bull-2021, 3–21

Reik Leiterer  
ExoLabs GmbH, Universität Zürich  
[reik.leiterer@exolabs.ch](mailto:reik.leiterer@exolabs.ch)

Alexia Massacand  
MountainNow, One Earth Sàrl  
[am@mountainow.net](mailto:am@mountainow.net)

Jeanette Noetzli  
WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF – PERMOS  
[jeanette.noetzli@slf.ch](mailto:jeanette.noetzli@slf.ch)

Matthias Huss  
ETH Zürich – GLAMOS  
[mhuss@vaw.baug.ethz.ch](mailto:mhuss@vaw.baug.ethz.ch)



## Unsere präzisen Lösungen erfüllen Ihre Anforderungen.

Steigern Sie die Produktivität durch präziseres und effizienteres Arbeiten sowie einer exakten Planung im Vorfeld. Vom Konzept bis zur Fertigstellung bieten unsere Geodatenlösungen eine sichere Vernetzung, intuitive Software und präzise Messinstrumente, von denen Sie profitieren.

### FIELDWORK

Maschinenkontroll- und Vermessungssysteme AG  
Bleichelstrasse 22, CH-9055 Bühler, [www.fieldwork.ch](http://www.fieldwork.ch)

 **TOPCON**  
AUTHORIZED DEALER