Alarm am Berg

Der Klimawandel führt in den Alpen immer häufiger zu Lawinen, Gletscherabbrüchen, Murgängen und Bergstürzen. Ein neues Überwachungssystem, das Schweizer Ingenieure entwickelt haben, hilft, Bewohner und Touristen im Hochgebirge frühzeitig zu warnen

von CHRISTIAN BERNHART

Schock im mondänen Kurort Zermatt: Gerade als am 4. Januar 2018 viele der rund 13 000 Touristen, die Weihnachten und Neujahr am Fuß des Matterhorns verbracht haben, die Rückreise antreten wollen, donnert kurz nach 11 Uhr eine mächtige Lawine ins Tal. Am Ortsrand beim „Lüegelti“ verschütten gewaltige Schneemassen die Bahntrasse und die Straße, die durch das Mattertal führen, unter nassem und schwerem Geschiebe. Zu Schaden kommt glücklicherweise niemand – dank eines Systems aus zwei Radaranlagen, das Ingenieure in Zürich vor einiger Zeit gegenüber dem Wisshorn installiert haben und das den lawinengefährdeten Hang ständig überwacht.

Trotz tief hängender Wolken und anhaltenden Schneefalls, was die Sicht auf den Berg versperrt, hatte die sensible Technik bereits kurz vor dem Anschub der mächtigen Schneewalze rund 30 kleinere Lawinenabgänge registriert und daraufhin in Sekundenschnelle die Sperrung der Straße und der Bahnverbindung durch das Tal veranlasst.

Eismassen am Rutschen

Auch bei einem drohenden Gletscherabbruch oberhalb des nahegelegenen Skiorts Saas Fee schlug eine solche Anlage rechtzeitig Alarm: Hochauflösende Bilder zeigten Ende August 2017, dass auf dem Triftgletscher instabile Eismassen ins Rutschen gekommen waren und sich immer schneller bewegten: zunächst rund 80 Zentimeter pro Tag, am 9. September dann bedrohliche 3,60 Meter. An diesem Samstag wurden deshalb 222 Bewohner aus einem besonders gefährdeten Teil des rund 1800 Meter hoch gelegenen Bergorts Saas Grund evakuiert.

Mithilfe von Radaranlagen, die trotz schlechten Wetters zuverlässige Daten lieferten, sagten die Fachleute den Gletscherabbruch für den frühen Sonntagmorgen voraus. Tatsächlich donnerten ab 5 Uhr 30 insgesamt 300 000 bis 400 000 Kubikmeter Eis talwärts. Es war ein Abbruch in Raten: Die gefrorenem Massen wälzten sich in mehreren Stößen nach unten – allerdings ohne das Dorf über der Talsohle zu erreichen, sodass die Menschen noch am selben Tag in ihre Häuser zurückkehren konnten.

Anfang 2018 kam man nach Zermatt nur mit dem Hubschrauber.

3000 erfasste Lawinen

„Bis heute haben wir mit solchen Radaranlagen etwa 3000 Lawinen detektiert“, bilanziert der Physiker Lorenz Meier, Gründer und Chefentwickler von Geopraevent, des Züricher Herstellers, von dem die Radaranlagen stammen. Die Radargeräte, von denen die ersten 2015 in Zermatt installiert worden sind, überwachen inzwischen

Wenn sich eine Lawine löst, erkennt das die aufmerksame Technik in wenigen Sekunden.

picture alliance/AP Photo (l.); Colourbox.com (o.)

nicht nur Gebirgsregionen in der Schweiz, sondern auch in Norwegen, Kanada und Chile. Die Anlagen zeichnen sich durch ihre kurze Reaktionszeit aus. Geraten oben am Berg Schnee- oder Steinmassen ins Rollen, werden innerhalb von Sekunden die gefährdeten Wege durch Barrieren abgeriegelt – rechtzeitig, bevor die zerstörerischen Massen ins Tal gelangen.

Zuvor registrieren zusätzliche Warneinrichtungen, ob sich ein gefährliches Naturereignis ankündigt. Dazu dienen empfindliche Hightech-Kameras mit einer Bildtechnik, die kleinste Veränderungen erkennt. Die Experten von Geopraevent haben dazu eigens eine Methode zur Interpretation von „Deformationsbildern" entwickelt. Sie arbeitet mit einem Hochleistungsrechner, der nacheinander aufgenommene hochauflösende Fotos vergleicht und aus Bewegungen resultierende Unterschiede örtlich und zeitlich analysiert (siehe Infokasten auf Seite 45, „Jede Veränderung genau im Blick").

Als Physiker Lorenz Meier vor sieben Jahren begann, sich mit der Analyse von Naturgefahren zu beschäftigen, betrat er kein Neuland. Naturgefahren, insbesondere durch Gletscher, sind in der Schweiz seit Langem ein wichtiges Forschungsgebiet – etwa an der ETH Zürich sowie an der Eidge-

KOMPAKT

- **In vielen Gebirgsregionen sind die Menschen durch Schnee, Schlamm oder Geröll bedroht.**
- **Eine neue Technik erkennt frühzeitig, wenn Gefahr droht, und kann Menschenleben schützen. In den Schweizer Alpen hat sich das System bereits eindrucksvoll bewährt.**

Die Radar-Alarmanlage bei Randa im Mattertal steht ständig mit der Messstation am Berg in Verbindung.

nössischen Versuchsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL), zu der das Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in Davos gehört. Experten, die dort ausgebildet wurden, sind nun in gefährdeten Bergregionen anzutreffen, zum Beispiel in Brig im Oberwallis.

Mitten im verkehrsberuhigten Altstadtkern beschäftigt sich bei der Firma Geoformer ein rund 20-köpfiges Team von Wissenschaftlern und Ingenieuren mit dem Risikomanagement von Naturgefahren. Gemeinsam mit ihm haben die Experten von Geopraevent die Alarmanlagen im Mattertal und im benachbarten Saastal konzipiert. In Brig arbeitet auch die Glaziologin Evelyne Zenklusen, die zuvor am WSL und SLF den Permafrost im Kanton Wallis erforscht hat. Ihr Team hat heute fast 80 Gletscher im Wallis im Blick.

Die Forscher richten ihr Augenmerk auf potenziell gefährliche Veränderungen, die steigende Temperaturen durch den Klimawandel mit sich bringen. Dazu messen sie auf Gletschern oder arbeiten mit Bildern von Satelliten, Drohnen oder Helikoptern. „Wenn sich Gletscher zurückziehen, können sie instabil werden“, sagt Zenklusen.

Lorenz Meier (rechts) und Yann Dupertuis arbeiten an einer Kamera auf 3220 Meter Höhe.

Bedrohliche Wassertaschen

Deshalb beobachtet die Wissenschaftlerin im Saastal auch den Feegletscher genau. Unter diesem Eisfeld sammelt sich immer wieder unterirdisch Wasser in einer sogenannten Wassertasche. Aufmerksamkeit benötigt auch der Gletscher von L’A Neuve im Unterwallis, wo sich vor ein paar Jahren ein See gebildet hat. Gefährlich wird es, wenn die Wassermassen plötzlich ausbrechen, als Flutwelle ins Tal stürzen und dabei auch Murgänge auslösen können – schnell talwärts fließende Ströme aus Schlamm und großen Steinen.

Eine Kamera auf einem Felsgrat blickt direkt auf die Abrisskante des Bisgletschers.

Ein Abbruch wie am Triftgletscher droht auch am Bisgletscher im Mattertal. Martin Funk, Professor für Glaziologie an der ETH Zürich, erklärt, wie sich die steigenden Temperaturen im Sommer auswirken: „Der untere Gletscherteil verdünnt sich und löst sich dann vom oberen Teil. Der droht nun abzubrechen, weil er von unten nicht mehr gestützt wird.“ Beim Bisgletscher kommt es immer wieder zu Abbrüchen, weil er sich über eine steile Bergflanke erstreckt.

Deshalb analysiert Glaziologin Evelyne Zenklusen mit Norbert Carlen, dem Oberwalliser Forstingenieur für Naturgefahren, regelmäßig die Veränderungen des Gletschers anhand der Deformationsbilder von Geopraevent. Sie liefern wichtige Anhaltspunkte dafür, ob Warnungen nötig sind. Daneben sind aber auch Beobachtungen vor Ort von entscheidender Bedeutung, betont Carlen. Erfahrene Bergführer und Förster achten daher stets auf Veränderungen, die sie den Kantonsbehörden melden.

Schluss mit der Reißleine!

Jedes Jahr im Frühling und Herbst kommen rund 20 Fachleute des Mattertals routinemäßig zusammen, um die aktuelle Situation zu besprechen. Zwar konnten sie sich schon früher auf täglich übermittelte

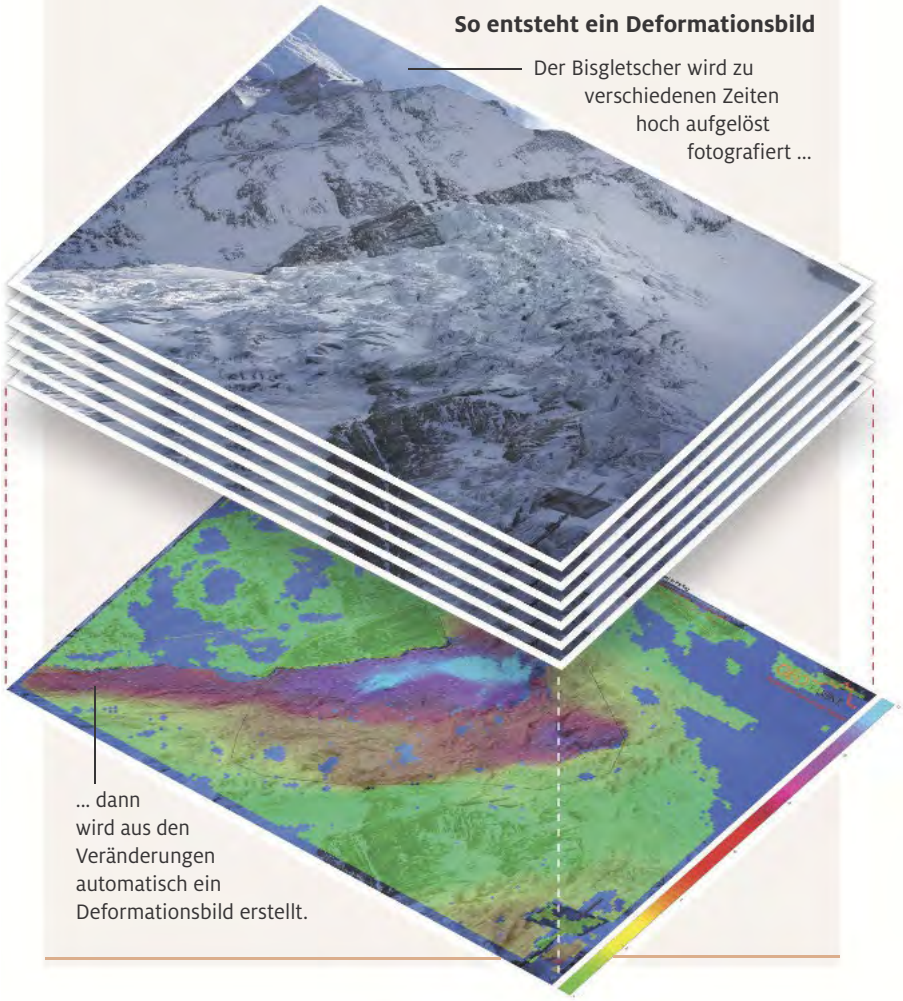
Jede Veränderung genau im Blick

Vergleicht man Bilder, die die gleiche Gegend zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfassen, lassen sich Veränderungen erkennen. Die daraus erstellten sogenannten Deformationsbilder des Unternehmens Geopraevent aus Zürich setzen jedoch mehrere Bedingungen voraus. Eine davon sind Kameras mit einer hoher Auflösung von bis zu 42 Megapixeln, die sich noch verbessern lässt durch Doppelaufnahmen mit der „High Dynamic Range“ (HDR)-Technik. Der Datenumfang eines einzelnen Bildes beträgt dann bis zu 100 Megabyte. Zudem müssen die Fotokameras an sicheren Standorten möglichst nahe beim Beobachtungsfeld stehen, denn wegen der rauen Witterung auf dem Berg sind große Kameras mit Teleobjektiven ungeeignet.

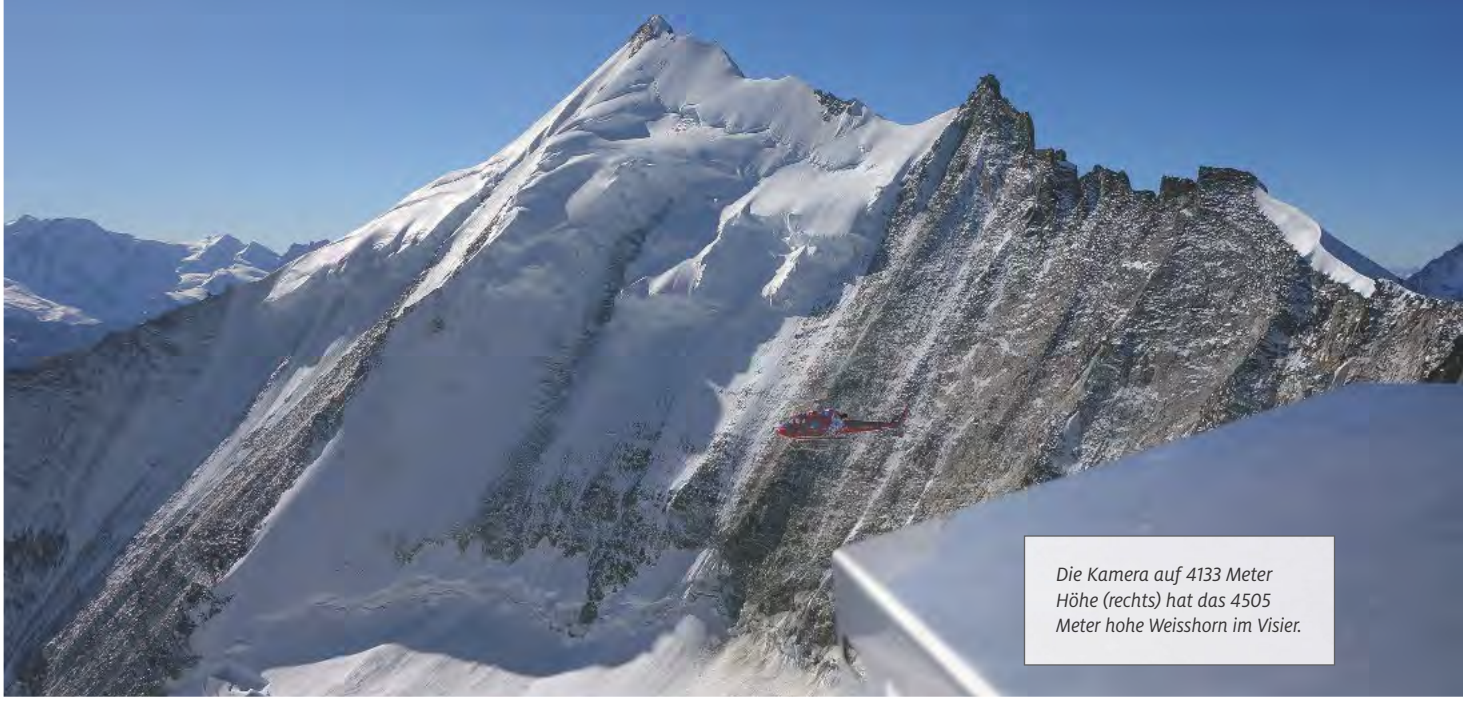
Die Kameras auf dem Bisgletscher registrieren noch Veränderungen von zehn Zentimetern. Über eine sichere Verbindung, meistens per Mobilfunk oder Internet, schicken sie täglich fünf bis zehn Bilder an die Zentrale in Zürich, wo die Aufnahmen bearbeitet werden. Zunächst gilt es, geeignete Bildpaare für den Vergleich zu finden, wozu auch Bilder der vergangenen Tage dienen. Die automatische Auswahl erfolgt über einen Algorithmus, der die Bilder anhand von fixen Felspunkten abgleicht. Daraus werden Deformationsbilder errechnet und dann eingefärbt (Bild ganz unten). Sie geben Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung wieder. Letztere wird durch eine Farbskala hervorgehoben. Hellblau heißt: sehr starker Bewegungsverlauf, Rot steht für starke Bewegung, Grün für Ruhe. Auch eine Beschleunigungskurve lässt sich anzeigen.

Um die hochauflösenden Bilder solcher Anlagen schnell zu errechnen, sind leistungskräftige Rechner nötig. Insgesamt hat Geopraevent 20 derartige Anlagen in drei Ländern installiert.

So entsteht ein Deformationsbild



GEOPRAEVENT (2); Christian Bernhart (l. u.); Grafik (r.u.): Fotos: GEOPRAEVENT, Montage: Daniel Kisig



Die Kamera auf 4133 Meter Höhe (rechts) hat das 4505 Meter hohe Weisshorn im Visier.

Lino Schmid (links) und Silvano Stecher (rechts) montieren und prüfen die Anlage in Zürich.

Kamerabilder stützen. „Doch die Bilder von Geopraevent sind deutlich besser", sagt Carlen. „Das hat sich beim Triftgletscher ausgezahlt, weil sich der Abbruch dadurch genau voraussagen ließ."

Zufrieden ist der Ingenieur auch mit der Radaranlage beim Lüegelti vor Zermatt: „Der Alarm funktioniert sehr gut, und man kann die Straße viel schneller wieder freigeben." Vor der Installation der neuen Technik mussten sich die Behörden auf eine Reißleine verlassen, die einen Stromkreis unterbrach und Alarm auslöste, sobald eine Lawine sie zerriss. „Danach musste erst jemand hochgehen und die Reißleine wieder einrichten, was sehr gefährlich war", erklärt Carlen

Die Warneinrichtungen der Züricher Entwickler mit den hochauflösenden Kameras werden dagegen auf sicheren Felskuppen möglichst nahe am Gletscher aufgestellt. Beim Bisgletscher steht eine Kamera auf 4133 Meter, die zweite auf 3220 Meter Meereshöhe. Erreichbar sind beide per Hubschrauber.

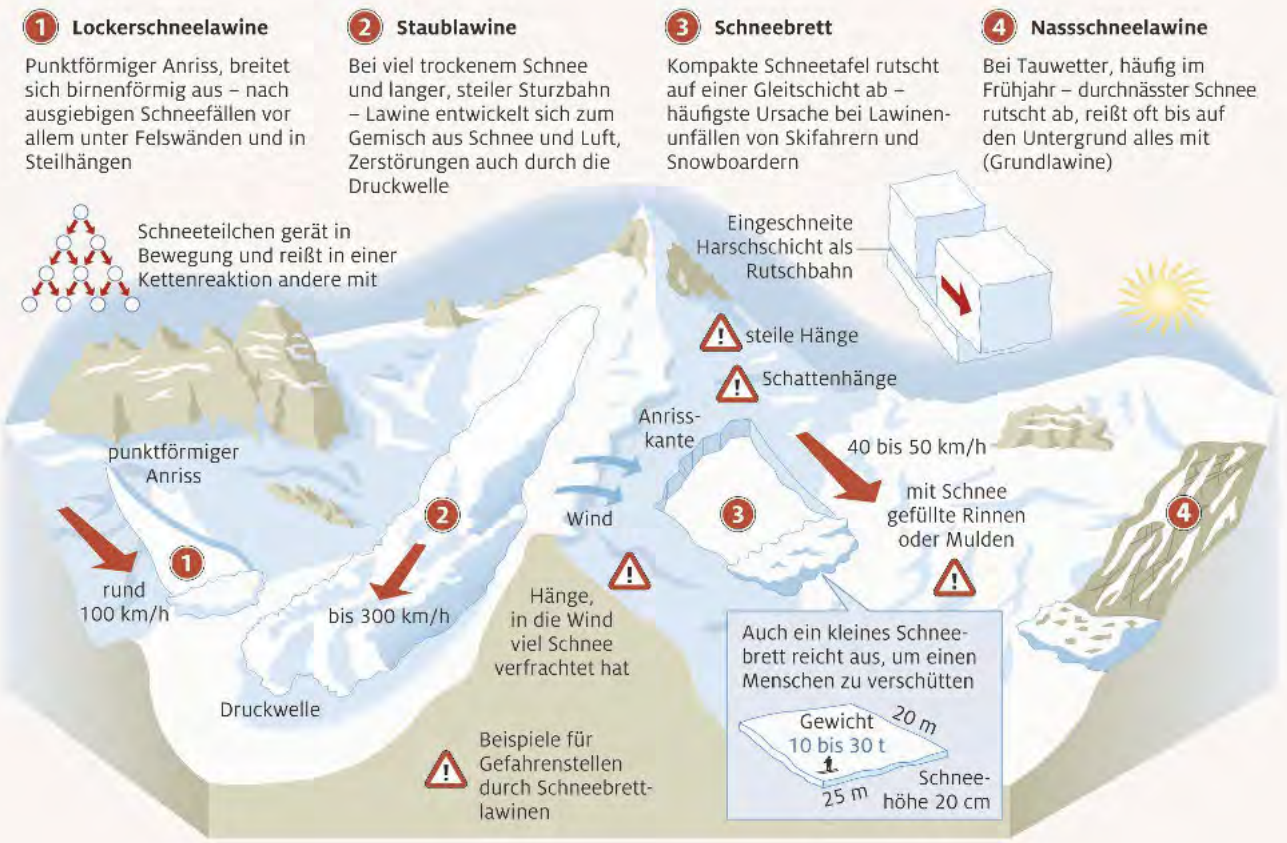
Technik für raue Bedingungen

Konzipiert und zusammengebaut werden die Alarmanlagen in einer geräumigen Werkstatt im Technopark Zürich. Ringsum liegen dort auf Regalen und in Kisten die Kameras und teuren Radargeräte. Neben den Montagetischen gibt es in einer Schlosserei solide Stützen, Stahlblech-Schutzkästen und stählerne Elektronikschränke. Die robuste Präzisionselektronik der Konstruktionselemente garantiert, dass die Anlagen auch rauen Wetterbedingungen trotzen können. Und auf dem großen Montageboard sitzen solide Relais und Schalter, aus denen die Kabel zum Ansteuern der Elektronik herausführen.

Eine möglichst große Stabilität ist oberstes Gebot, denn die Radarsignale werden an Ort und Stelle verarbeitet. Das gilt auch beim Auslösen eines Alarms. Der Elektroingenieur Lino Schmid, Entwickler der Radartechnik bei Geopraevent, weist auf eine redundante Stromzufuhr im Schrankboden hin: Sie basiert auf zwei voluminösen Bleibatterien, die je zwölf Volt Spannung liefern, und einem Laderegler, über den Solarstrom aus Photovoltaikanlagen in die Batterien fließt. Daneben befindet sich eine Brennstoffzelle samt Methanol-Tank, die bei Stromausfall einspringt. Im Betrieb stößt die Zelle neben

Weiße Walzen: Wie Lawinen entstehen

Je nach Witterung und Zustand der Schneedecke können an einem Berg unterschiedliche Arten von Lawinen entstehen. Immer wieder werden Wintersportler von einem Schneebrett verschüttet: einer blockförmigen Masse aus Schnee, die sich vom Untergrund löst und am Stück ins Tal gleitet. Daneben gibt es auch Lockerschneelawinen, Staublawinen und Nassschneelawinen.



warmer Luft auch Wasser aus. Das wird in den Boden geleitet, damit es bei frostigen Außentemperaturen nicht gefriert.

Fernsteuerung aus Zürich

Auf dem Elektronikboard, das Schmid auf seine Funktionstüchtigkeit kontrolliert, dominieren die grauen Rippen des Hochleistungsrechners. Darin werden die Radarsignale verarbeitet und interpretiert. „Alle Geräte wie Kamera, Lüftung und Radar-Controller können wir per Internet einzeln ein- und ausschalten – und im Störfall auch den Computer neu starten", erklärt der Ingenieur. Je nach Standort müssen die Anlagen mit speziellen Stützen und Montagelementen bestückt werden. Dazu sägt, fräst oder hämmert Geotechniker Jürgen Werner die Teile, die alle Unikate sind. Wenn Silvano Stecher die Kamera mit den vielen Anschlüssen für Datenübertragung und Stromversorgung an die Gehäuseschiene anpasst, nimmt sie sich neben der Steuerungselektronik fast zierlich aus. Alles, was die Anlagen dann an ihrem Standort irgendwo auf der Welt registrieren, wird in einer Kommando- und Entwicklungszentrale hier in Zürich verarbeitet.

Im November 2018 sollen die Kameras oberhalb von Zermatt durch leistungsfähigere Geräte ersetzt werden. Vor dem Bahnhof von Brig im Rhonetal sitzen Lorenz Meier und Lino Schmid am Gehwegrand. Sie haben gerade eine Besprechung mit den Sicherheitsfachleuten der Matterhorn-Gotthard-Bahn hinter sich. In Jeans und Sportjacke gekleidet, die Rücksacke neben sich, wirken sie eher wie Touristen als wie Wissenschaftler. Nicht wenige im 17-köpfigen Geopraevent-Team sind Bergsteiger. Sie haben ihren Wohnort in den Bergen behalten, einige pendeln von Graubünden nach Zürich zur Arbeit.

Vom Quantencomputer zu Lawinen

Als „Unterländer", aufgewachsen in Toggenburg, ist Lorenz Meier eine Ausnahme. Nach seinem Physikstudium an der ETH Zürich untersuchte er im IBM-Forschungszentrum Rüschlikon hoch über dem Zürichsee Quantencomputer und tüftelte an Halbleitersensoren, bevor er für zwei prägende Jahre ans WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos ging. Dort traf er auf Geologen, lernte ihre technischen Bedürfnisse kennen – und kam auf die Idee, moderne Computertechnik mit

GEOPRAEVENT (o.); Peter Mosimann (2); Grafik: APA-Grafik/picturedesk.com

Bereits bevor die Lawine im Januar 2018 die Straße nach Zermatt erreichte, wurde die Zufahrt automatisch gesperrt.

herkömmlichen Warnsystemen zu verbinden.

Der Weg des Teams führt das Mattertal hinauf nach Randa, neun Kilometer vor Zermatt. Es ist der Ort, den Lawinen und Abbrüche des Bisgletschers direkt treffen können. Hier stößt Yann Dupertuis hinzu. Er ist Bergführer, Skilehrer und örtlicher Sprengmeister, der Lawinen gezielt auslösen kann. Oberhalb des Dorfs bei der Radaranlage, die auf den Gletscher gegenüber gerichtet ist, ist die Bedrohung kaum wahrzunehmen. Weit oben erstreckt sich der Gletscher, von dem nur der untere Teil sichtbar ist. Die Distanz beträgt vier Kilometer, doch ausschlaggebend ist die steile Flanke, die abrupt rund 2000 Meter emporsteigt. Dort sind weiße Schneemassen erkennbar.

Im Spiralflug die Felswand empor

Während Lino Schmid an der Radarstation die Batterie wechselt und die Technik im Elektronikkasten aktualisiert, begeben sich Meier und Dupertuis mit einem Helikopter, der in engen Spiralen entlang der Felswand aufsteigt, hinauf zum 3200 Meter hoch gelegenen Bisgletscher.

Am Freiwänggrat angekommen, steigen die Männer aus dem schwebenden Helikopter aus – und werfen sich sofort auf den Boden, damit sie der Luftstrom von den Rotoren der wegfliegenden Maschine nicht in die Tiefe schleudert. Den schmalen Felsengrat entlang geht es angeseilt weiter zum Kamerastation. Sie besteht aus einer stählernen Stütze mit der Kamera in einem Gehäuse und einem angeflanschten Photovoltaik-Panel. Der Kasten mit der Elektronik sitzt auf einem zweiten Stützpfeiler beim Grat weiter unten. Diese Aufteilung stellt sicher, dass die Technik dem starken Wind hier oben möglichst wenig Angriffsfläche bietet.

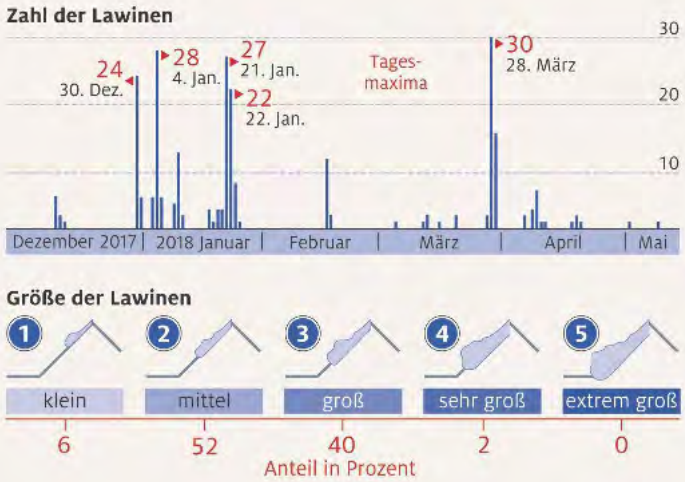
Die Bewegungsfreiheit des Teams, das auf dem felsigen Grat die bisherige 24-Megapixel-Kamera durch ein neues Modell mit 42-Megapixel Auflösung ersetzt, beträgt nur etwa einen Meter. Meier und Dupertuis bewegen sich hochkonzentriert um die Kamerastange herum. Ohne Erfahrung als Bergsteiger wäre hier nichts auszurichten. Trotz des föhnigen Wetters steigt das Quecksilber an diesem Spätherbstnachmittag kaum über null Grad Celsius. Mit den richtigen Griffen, dem passenden Inbusschlüssel und einer genauen Kenntnis der Steckverbindungen ist der Austausch der Kamera nach 25 Minuten erledigt.

Kleine Lawinen in der Ferne

Das Montageteam steht über Mobiltelefone ständig mit der Zentrale in Zürich in Kontakt. Per Handy miteinander verbunden, schießen Meier und sein Kollege Sil-

Rückblick auf einen Lawinenwinter

Zwischen Dezember 2017 und Mai 2018 registrierte die Anlage bei Zermatt insgesamt 244 Lawinen, die Hälfte davon im Januar. 52 Prozent der detektierten Schneewalzen fielen in die Kategorie 2 (mittel), 40 Prozent in die Kategorie 3 (groß). 2 Prozent stuften die Lawinenforscher als sehr groß ein.



picture alliance/AP Photo (o.); bdw-Grafik, Quelle: GEOPRAEVENT (l.); Grafik: GEOPRAEVENT (r.)

vano Stecher die ersten Bilder und bringen die Kamera in die richtige Position. Meier schraubt die Kameraplattform nahe dem Abgrund fest und montiert den Schutzkasten. Schließlich beordert Dupertuis per Funk den Helikopter aus Zermatt herauf. Eine Stunde nach der Ankunft geht es über den schmalen Pfad auf dem Grat zurück. Kurz bevor das Dröhnen der Rotoren zu hören ist, sieht man, wie sich oben am Weisshorn eine kleine Lawine löst und zum unteren Bisgletscher rollt. Lorenz Meier und Yann Dupertuis zücken ihre Smartphones, um das Naturschauspiel zu fotografieren.

20 Minuten nach der sicheren Landung in Randa klappt Meier im Restaurant seinen Laptop auf. Der Server von Geopraevent hat bereits die ersten Bilder der neuen Kamera hochgeladen. Dupertuis blickt auf das Bild des von der Sonne kaum noch beschienenen Gletschers. Das 50-Millimeter-Objektiv deckt die ganze Breite der unteren Abrisskante ab. Der Bergführer staunt, als Meier das Bild heranzoomt: Die Detailtreue der Aufnahme ist enorm. Jede Furche, jede Abrissstelle und jeder Spalt sind haarscharf zu erkennen. Diese Genauigkeit ermöglicht es, aus mehreren Fotos Bewegungen per Deformationsbild aufzuspüren.

Radar im Doppelpack

Schließlich gibt Physiker Meier dem Bergführer noch eine kurze Einführung in die Funktion der Radaranlagen, die im Mattertal aufgestellt sind: einmal für die obere Bergflanke und ein zweites Mal für den unteren Teil. Bahntrasse und Straße werden durch die erste Anlage gesperrt, sobald sie einen Lawinenabgang registriert hat. „Zwar bleiben viele Lawinen, die dort oben losbrechen, im oberen Teil auch wieder liegen“, sagt Meier. „Doch wir können nicht warten, bis eine Lawine das Radargebiet im unteren Bereich erreicht hat.“ Allerdings: Registriert das zweite Radar – anders als das erste – keine Lawine, wird die Sperrung der Verkehrsadern sofort wieder aufgehoben. ■

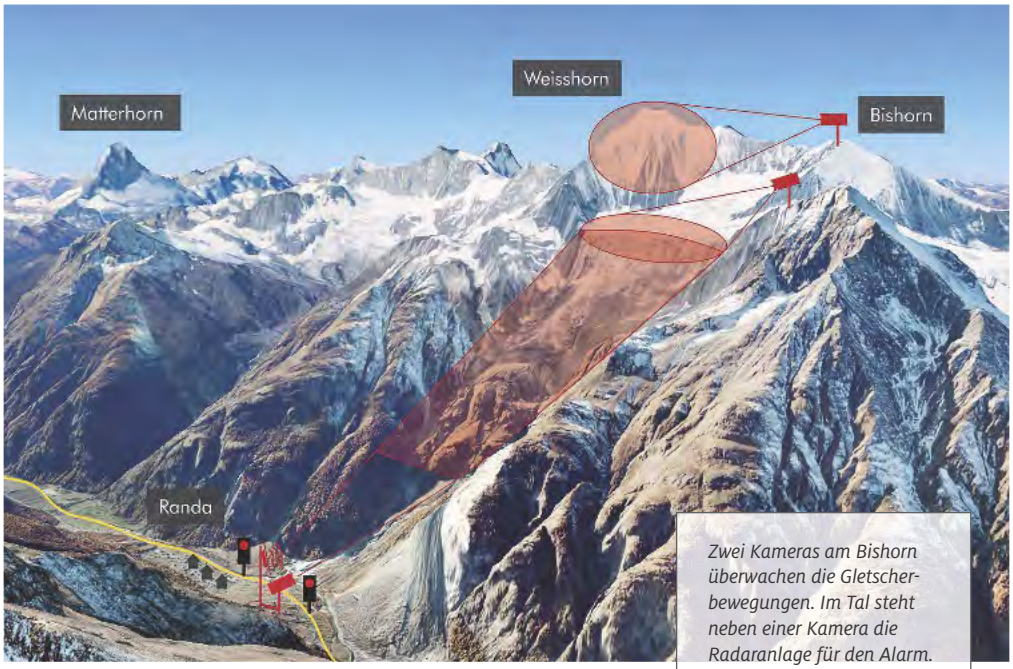
CHRISTIAN BERNHART gelangte selten zuvor so hoch hinaus. Gemeinsam mit den Experten flog er für die Wartung der Anlage auf den Felsgrat am Bisgletscher.

Radaralarm über fünf Quadratkilometer

Radaranlagen, die ein Gebiet von fünf Quadratkilometern bei Tag und Nacht überwachen können, hat das Züricher Unternehmen Geopraevent selbst entwickelt und erstmals 2015 in Zermatt in Betrieb genommen. Das dabei verwendete Prinzip des Dopplerradars – benannt nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler – ist seit Langem Standard. Die im Mikrowellenbereich gesendeten Wellen werden am Objekt reflektiert und treffen mit unveränderter Wellenlänge wieder beim Radarempfänger ein. Stoßen die Radarwellen aber auf ein Objekt, das sich zum Radar hinbewegt, werden die zurückgesandten Wellen gestaucht – und ihre Frequenz steigt.

Die bislang verwendete kostengünstige Technik setzt auf einen stark gebündelten Radarstrahl und eine kurze Distanz – wie bei Radarfallen im Straßenverkehr. Die Innovation von Geopraevent besteht darin, eine Radartechnik anzuwenden, die einen breiten Strahlungswinkel von 90 Grad bis zu fünf Kilometer weit ermöglicht und dadurch ein ganzes Lawinengebiet auf einmal erfasst.

Die Herausforderung war, die Bewegungsmuster eines so großen Gebiets in Echtzeit zu analysieren. Dazu muss eine Software die Bewegungen aussortieren, die nicht von Abbrüchen oder Lawinen stammen – etwa von vorbeifliegenden Vögeln, Flugzeugen oder Hubschraubern. Die Software wird stetig aktualisiert. Nötig sind dazu gewaltige Rechenkapazitäten, um ein paar Megabyte an Daten pro Sekunde zu verarbeiten. Denn um Straßen und Bahngleise rechtzeitig zu sperren, muss der Alarm innerhalb von wenigen Sekunden ausgelöst werden.



Zwei Kameras am Bishorn überwachen die Gletscherbewegungen. Im Tal steht neben einer Kamera die Radaranlage für den Alarm.