

Naturgefahren – Überwachung in allen Dimensionen

Veränderungen der Umwelt können gravierende Konsequenzen auf unser Leben haben. Für die Überwachung und frühzeitige Erkennung von Naturgefahren werden unterschiedliche Messsysteme und Technologien eingesetzt, wobei die Mehrheit komplett autonom gesteuert werden kann. Die Zusammenführung unterschiedlicher Technologien hilft, die oft komplexen Prozesse besser zu verstehen und echte Gefahren frühzeitig zu erkennen.

F. Neyer

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Messsystemen, Technologien und Algorithmen, mit welchen unterschiedliche Arten von Naturgefahren vermessen und überwacht werden können. Bis auf wenige Ausnahmen werden solche Messsysteme

autonom und über lange Zeit betrieben. Messwerte werden über unterschiedliche Kommunikationswege (Mobilfunk, LoRa etc.) auf die Rechenserver übertragen, wo eine Verarbeitung und gegebenenfalls eine automatische Alarmierung stattfinden. Über das passwortgeschützte Webportal sind die Resultate jederzeit einsehbar. Nachfolgend werden drei Konzep-

te aus dem Portfolio von TEDAMOS (Swiss Monitoring Solution – www.tedamos.ch) vorgestellt, welche besonders für die Langzeitüberwachung von Rutschungen und Felsinstabilitäten von Bedeutung sind.

Permanente und hochgenaue 3D-Verschiebungen dank autonomen GNSS-Lösungen

Ein Grossteil der im Alpenraum vorkommenden Naturgefahren ist mit Geländeverschiebungen verknüpft. Sofern eine Installation auf dem bewegten Objekt möglich ist, können GNSS-Stationen für kontinuierliche, millimetergenaue Positionsmessungen verwendet werden. Die ursprünglich an der ETH Zürich entwickelte Hard- und Software ist besonders robust und vielseitig einsetzbar. Die Stationen (Abb. 1, links) sind dank Solarmodulen völlig autonom, wenig anfällig gegenüber Wind und Schneelast, benötigen eine kleine Installationsfläche und werden bei jeder Witterung sowie Tag und Nacht betrieben. Viele dieser Stationen sind seit mehreren Jahren auch in hochalpinen Gebieten permanent und wartungsfrei im Einsatz. Mit optimierten Auswertestrategien können die Low-Cost GNSS-Empfänger Genauigkeitslevels für Tageslösungen im Millimeterbereich erreichen.

Die GNSS-Lösung kommt immer öfter auch auf Seilbahnmasten und -fundamenten zum Einsatz: Verschiebungen der Masten, ebenfalls durch instabilen Untergrund induziert, können in allen Dimensionen genau erfasst werden. Für komplexe Bewegungsfelder werden zwei bis drei Stationen am gleichen Mast befestigt, sodass auch Rotation und Kippung und damit die tatsächliche Mastbewegung millimetergenau erfasst werden kann.

Technologie	Primäre Messgrösse		Messart		Genauigkeitslevel			Messdimension			Einsatz		visuelle Sicht notwendig	
	Position	Verschiebung	punktuell	flächenhaft	< mm	mm–cm	> cm	1D	2D	3D	Langzeit	akut	ja	nein
GNSS	x		x			x				x	x			x
1 Kamera		x		x		x*			x		x		x	
>1 Kamera		x		x		x*			x	x	x		x	
Satellitenradar		x		x		x		x	x		x			x
Terr. Georadar		x		x	x			x				x		x
Wegmessgeber		x	x		x			x			x	x		x
Tachymeter	x		x			x*				x	x		x	
Laserdistanz	x		x		x			x			x		x	
Terr. LIDAR	x			x			x*			x	x		x	
Pegelradar		x	x			x		x			x	x		x

Tab. 1: Vergleich der am häufigsten bei Naturgefahren eingesetzten Messtechnologien zur Erfassung von Verschiebungen. Genauigkeitsangaben mit x* sind u. a. auch abhängig von der Distanz zwischen Messgerät und Messpunkt.

Tab. 1: Comparaison des technologies de mesure les plus courantes utilisées dans les risques naturels pour détecter les déplacements. Les valeurs de précision signalées par x* dépendent, entre autres, de la distance entre l'appareil de mesure et le point de mesure.

Flächenhafte 3D-Deformationsmessungen mit neuen Algorithmen

Im Bereich der bildbasierten Überwachungsmessung wurden neue Algorithmen

men entwickelt. Besonders für grossflächige Deformationsprozesse können mit zwei oder mehr Kameras echte 4D-Rekonstruktionen (3D Raum + 1D Zeit) gemacht werden. Die erreichbaren Genauigkeiten bewegen sich im Bereich einer GSD (Ground Sampling Distance) und lassen sich durch Verwendung von weiteren Kameras und Objektiven mit unterschiedlichen Brennweiten sowie die Erhöhung der Zeitspanne zusätzlich optimieren. Ab drei bekannten Objektkoordinaten (auch Kamerapositionen) lassen sich die Resultate in Landeskoordinaten übertragen, wodurch die 3D-Verschiebungsvektoren auch georeferenziert dargestellt werden können. Bildüberlappung und Bildkontrast steuern dabei wesentlich die Anzahl der berechneten Verschiebungsvektoren, welche typischerweise zwischen 5000 und 15 000 liegt.

Die Kamerastationen der Terradata AG (Abb. 1, rechts) sind für den alpinen Einsatz optimiert und arbeiten komplett autonom. Mehrmals täglich werden Bilder mit über 40 MP aufgenommen und über das Mobilfunknetz versendet. Die Kame-

ras selbst müssen dabei nicht zwangsweise auf stabilem Grund stehen, denn mit den integrierten GNSS-Messungen werden auch kleine Positionsänderungen in der Berechnung berücksichtigt.

Die 4D-Rekonstruktion erlaubt eine detaillierte Analyse der Bewegungskomponenten und kann das Verständnis der Geländebewegungen wesentlich verbessern. Die Methode wurde erstmals erfolgreich bei der grossflächigen Rutschung Moosfluh auf der Riederalp (VS) eingesetzt (Abb. 2). Nebst den Höhen- oder Lagekomponenten können auch nicht hangparallele Verschiebungen extrahiert werden. Sackungsprozesse oder sich langsam ankündigende Abbruchereignisse können damit noch früher und einfacher erkannt werden.

Erkundung des Untergrunds mit vielfältigen Messmethoden

Oberflächenmessungen von Deformationen sind primäre Indikatoren von Insta-

bilitäten. Die Kenntnis vom Rutschhorizont bei grossflächigen Deformationsprozessen ist aber oft eine elementare Information. Bei der Rutschung von Brienz/Brinzauls GR werden beispielsweise regelmässige Bohrloch-Messungen bis in Tiefen von über 200 Meter durchgeführt. Dabei werden primär Inklinometermessungen und Bohrlochscans gemacht (Abb. 3). Aber auch hydraulische Durchlässigkeitsversuche, Temperatur und Leitfähigkeit sowie Messungen zum Porenwasserdruck sind möglich. Die Resultate geben den örtlichen Geologen zentrale Antworten auf die Art der Rutschbewegung und dienen schliesslich als Grundlage für die Planung weiterer Massnahmen.

Visualisierung und Integration

Zentraler Bestandteil von automatischen Überwachungsmessungen ist eine geeignete Visualisierung über ein Webportal. Vermehrt werden unterschiedliche Messsysteme für die Überwachung eines Objektes eingesetzt, einerseits für Redundanz und andererseits zur gegenseitigen Ergänzung. Nur wenige Systeme sind heute schon in der Lage, eine Integration verschiedener Messsysteme auf Stufe der Auswertung durchzuführen. Ein solches Beispiel ist die bildbasierte 4D-Rekonstruktion, welche mit GNSS-Positionslösungen ergänzt und optimiert werden kann. In Tabelle 1 sind einige typische Technologien im Bereich der Naturgefahrvermessung gegenübergestellt. Eine Kombination unterschiedlicher Technologien im Bereich der Visualisierung und Auswertung wird in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen.



Abb. 1: Robuste GNSS-Station (links) und Kamerastation (rechts). Beide Stationen sind für den alpinen Einsatz konzipiert und arbeiten autonom.

Fig. 1: Station GNSS robuste (à gauche) et station caméra (à droite). Les deux stations sont conçues pour un usage alpin et fonctionnent de manière autonome.

Dr. Fabian Neyer
Terradata AG
Dorfstrasse 53
CH-8105 Regensdorf-Watt
f.neyer@terradata.ch

Risques naturels – la surveillance dans toutes ses dimensions

Les changements de l'environnement peuvent avoir de graves conséquences sur notre vie. Différents systèmes et technologies de mesure sont utilisés pour la surveillance et la détection précoce des dangers naturels, dont la majorité peut être pilotée de manière totalement autonome. La combinaison de différentes technologies permet de mieux comprendre les processus souvent.

I cambiamenti ambientali possono avere gravi ripercussioni sulla nostra vita. Per la sorveglianza e l'individuazione precoce dei pericoli naturali si ricorre a tecnologie e metodi di misurazione differenziati. La maggior parte di questi sistemi può essere gestita in modo completamente automatizzato. L'integrazione di tecnologie diverse consente di capire meglio i processi complessi e a individuare tempestivamente i pericoli.

F. Neyer

Il existe aujourd'hui un large éventail de systèmes de mesure, de technologies et d'algorithmes qui peuvent être utilisés pour mesurer et surveiller différents types de risques naturels. À quelques exceptions près, ces systèmes de mesure fonctionnent de manière autonome et sur une longue période. Les valeurs mesurées sont transmises par différentes voies de communication (radio mobile, LoRa, etc.) aux serveurs informatiques, où le traitement et, si nécessaire, l'envoi automatique d'une alerte ont lieu. Les résultats peuvent être consultés à tout moment via le portail web protégé par un mot de passe. Trois concepts du portefeuille sont présentés ci-dessous, qui sont particulièrement importants pour la surveillance à long terme des glissements de terrain et des instabilités rocheuses.

Déplacements 3D permanents et très précis grâce à des solutions GNSS autonomes

Une grande partie des risques naturels qui se produisent dans la région alpine est

liée aux déplacements de terrain. Si une installation sur l'objet en mouvement est possible, les stations GNSS peuvent être utilisées pour des mesures de position continues et précises au millimètre près. Le matériel et les logiciels, développés à l'origine à l'EPF de Zurich, sont particulièrement robustes et polyvalents. Les stations (fig. 1, à gauche) sont totalement autonomes grâce aux modules solaires, sont peu sensibles au vent et aux charges de neige, nécessitent une petite surface d'installation et fonctionnent dans toutes les conditions météorologiques, de jour comme de nuit. Nombre de ces stations fonctionnent en permanence et sans entretien depuis plusieurs années, même dans les zones de haute montagne. Grâce à des stratégies d'évaluation optimisées, les récepteurs GNSS à faible coût peuvent atteindre des niveaux de précision de l'ordre du millimètre pour les solutions quotidiennes.

La solution GNSS est également de plus en plus utilisée sur les mâts et les fondations des téléphériques: les déplacements des mâts, également induits par un sol instable, peuvent être enregistrés avec précision dans toutes les dimensions. Pour les champs de mouvement complexes, deux à trois stations sont fixées au même mât, de sorte que la rotation et l'inclinaison,

et donc le mouvement réel du mât, peuvent également être enregistrés avec une précision millimétrique.

Mesures de déformation 3D par zone avec de nouveaux algorithmes

De nouveaux algorithmes ont été développés dans le domaine des mesures de surveillance basées sur l'image. En particulier pour les processus de déformation de grandes surfaces, de véritables reconstructions 4D (espace 3D + temps 1D) peuvent être réalisées avec deux ou plusieurs caméras. Les précisions réalisables sont de l'ordre d'une GSD (Ground Sampling Distance); elles peuvent être davantage optimisées en utilisant des caméras et des objectifs supplémentaires avec différentes longueurs focales ainsi qu'en augmentant la durée. À partir de trois coordonnées d'objets connues (y compris les positions de la caméra), les résultats peuvent être transférés en coordonnées nationales, les vecteurs de déplacement 3D pouvant également être affichés sur une orthophoto, par exemple. Le chevauchement et le contraste des images contrôlent de manière significative le nombre de vecteurs de déplacement calculés, qui se situe généralement entre 5000 et 15 000.

Les stations de caméra de Terradata AG (figure 1, à droite) sont optimisées pour l'utilisation alpine et fonctionnent de manière totalement autonome. Plusieurs fois par jour, des images de plus de 40 MP sont enregistrées et envoyées via le réseau mobile. Les caméras elles-mêmes ne doivent pas nécessairement se trouver sur un sol stable, car avec les mesures GNSS intégrées, même les petits changements de position sont pris en compte dans le calcul.

La reconstruction 4D permet une analyse détaillée des composantes du mouvement et peut améliorer de manière significative la compréhension des mouvements du terrain. La méthode a d'abord été appliquée avec succès au glissement de terrain à grande échelle de Moosfluh

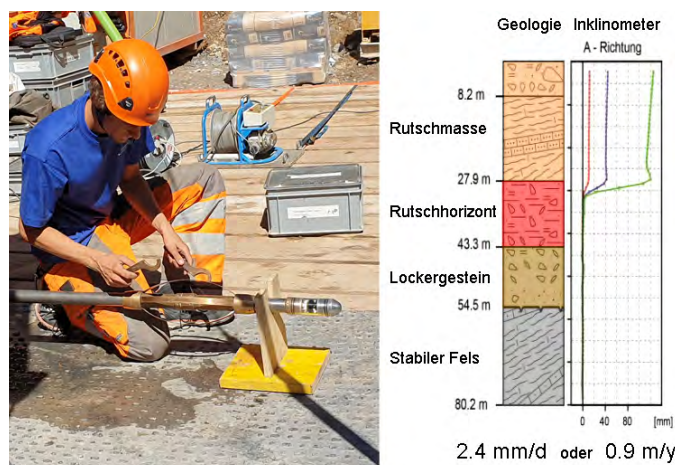
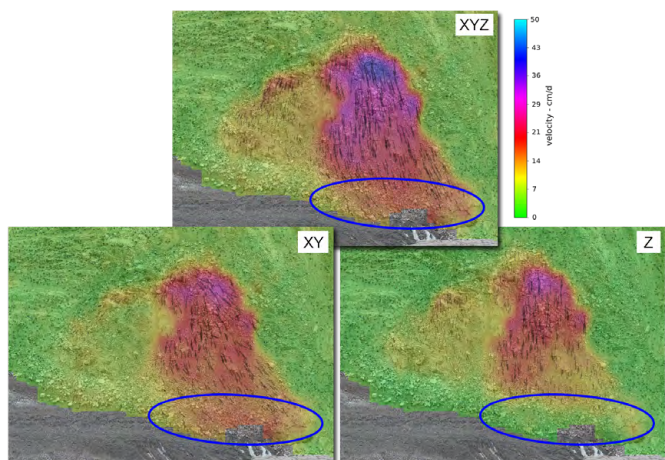


Fig. 2: Coupe d'une reconstruction 3D du glissement de terrain de Moosfluh basée sur une image. À l'aide de caméras supplémentaires, les déplacements peuvent être décomposés en leurs composantes (images ci-dessous). La zone marquée en bleu est une zone qui ne présente aucun déplacement vertical significatif. Cette connaissance ne peut pas être obtenue avec un seul appareil photo (photo ci-dessus).

Abb. 2: Bildbasierte 3D-Verschiebungsrekonstruktion der Moosfluh-Rutschung. Mit mehr als einer Kamera können Verschiebungen in ihre Komponenten zerlegt werden (Bilder unten). Blau markiert ist ein Bereich, welcher keine wesentlichen Verschiebungen in der Vertikalen zeigt. Diese Erkenntnis kann mit nur einer Kamera (Bild oben) nicht erlangt werden.

Fig. 3: Travail sur le terrain (préparation d'un scanner pour trous de forage) avec un exemple de mesures d'inclinomètre accumulées, montrant un profil de déplacement relatif. Les lignes de couleur différentes de la mesure de l'inclinomètre indiquent les différentes époques de mesure.

Abb. 3: Vorbereitung eines Bohrlochscanners im Feld mit Beispiel von aufsummierten Inklinometermessungen, die ein Verschiebungsprofil für verschiedene Messepochen (gefärbte Linien) ergeben.

au Riederalp (VS) (fig. 2). En plus des composantes de hauteur ou de position, il est possible d'extraire des déplacements non parallèles à la pente. Il est ainsi possible de détecter plus tôt et plus facilement les processus d'affaissement ou les signes de chutes rocheuses qui approchent lentement.

Exploration du sous-sol avec diverses méthodes de mesure

Les mesures de surface des déformations sont les principaux indicateurs des instabilités. Cependant, la connaissance de l'horizon des glissements de terrain dans les processus de déformation à grande échelle est souvent une information élémentaire. Dans le cas du glissement de terrain de Brienz/Brinzauls GR, par exemple, des mesures sont régulièrement

effectuées dans des trous de forage à des profondeurs supérieures à 200 mètres. On effectue principalement des mesures à l'inclinomètre et des balayages de trous de forage (fig. 3). Cependant, des tests de perméabilité hydraulique, de température et de conductivité ainsi que des mesures de la pression de l'eau interstitielle sont également possibles. Les résultats fournissent aux géologues locaux des réponses clés sur la nature du mouvement des glissements de terrain et servent finalement de base à la planification d'autres mesures.

Visualisation et intégration

Un élément central des mesures de surveillance automatique est la visualisation appropriée via un portail web. De plus en plus, différents systèmes de mesure sont utilisés pour surveiller un objet, d'une part pour la redondance et d'autre

part pour la complémentarité. Seuls quelques systèmes sont déjà capables d'intégrer différents systèmes de mesure au niveau de l'évaluation. Un exemple est la reconstruction 4D basée sur l'image, qui peut être complétée et optimisée avec des solutions de positionnement GNSS. Le tableau 1 compare quelques technologies typiques dans le domaine de l'étude des risques naturels. Une combinaison de différentes technologies dans le domaine de la visualisation et de l'analyse gagnera en importance dans les années à venir.

Dr. Fabian Neyer
Terradata AG
Dorfstrasse 53
CH-8105 Regensdorf-Watt
f.neyer@terradata.ch