

## 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 Rechnerserver übertragen, wo eine Verarbeitung und gegebenenfalls ein automatischer Versand einer Alarmierung stattfinden. Über das passwortgeschützte Webportal sind die Resultate jederzeit einzusehen. Nachfolgend werden drei Konzepte aus dem Portfolio 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.

### **Flächenhafte 3D-Deformationsmessungen mit neuen Algorithmen**

Im Bereich der bildbasierten Überwachungsmessung wurden neue Algorithmen 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

z.B. auch auf einem Orthophoto dargestellt werden können. Bildüberlappung und Bildkontrast steuern dabei wesentlich die Anzahl der berechneten Verschiebungsvektoren, welche typischerweise zwischen 5'000 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 Kameras 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 Instabilitäten. 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 um 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 gegenüber gestellt. Eine Kombination unterschiedlicher Technologien im Bereich der Visualisierung und Auswertung wird in den kommenden Jahren an Wichtigkeit gewinnen.

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

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	
Satellitenradar		x		x		x		x	x		x			x
Terr. Georadar		x		x	x			x			x			x
Kluftmessgeräte		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.



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



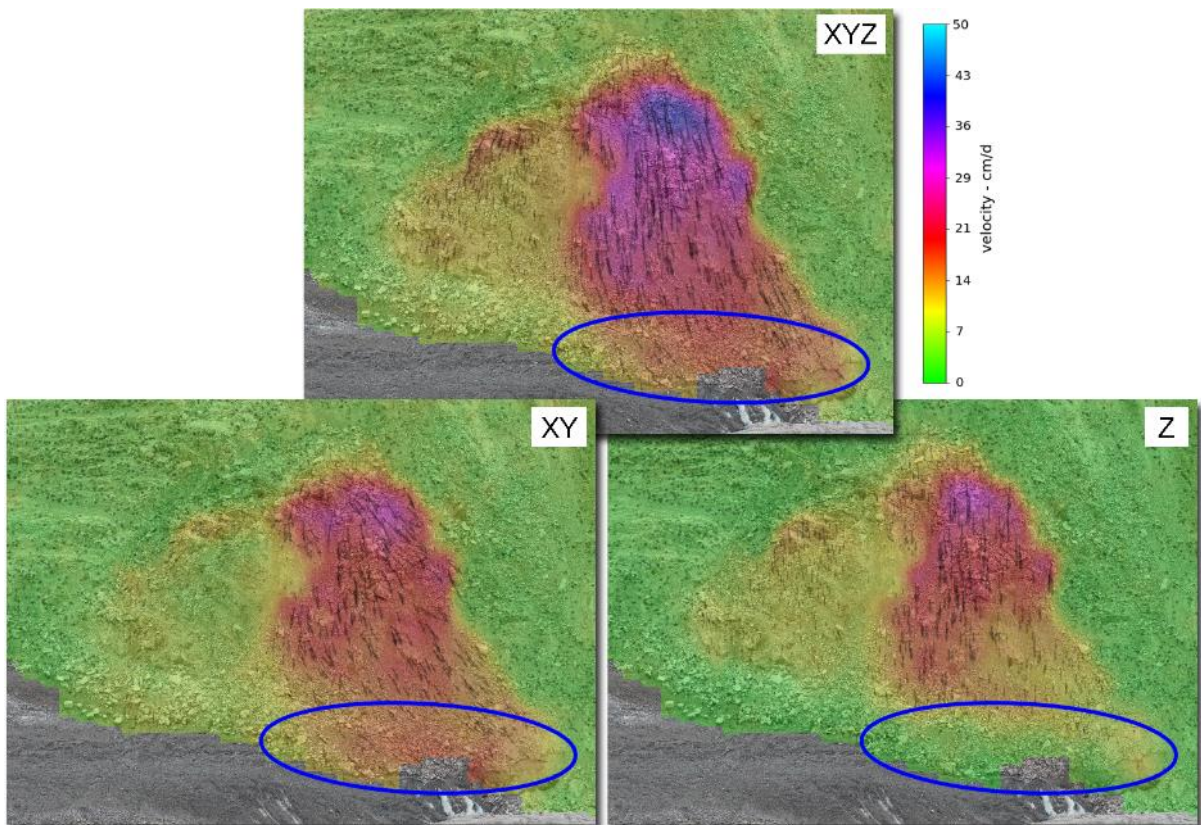


Abb. 2: Ausschnitt aus einer bildbasierten 3D Verschiebungsrekonstruktion der Moosfluh-Rutschung. Mit mehr als einer Kamera können Verschiebungen in ihre Komponenten zerlegt werden (Bilder unten). Blau markiert ist ein Bereich, welcher keine wesentlichen Verschiebungen in der Vertikalen zeigt. Diese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

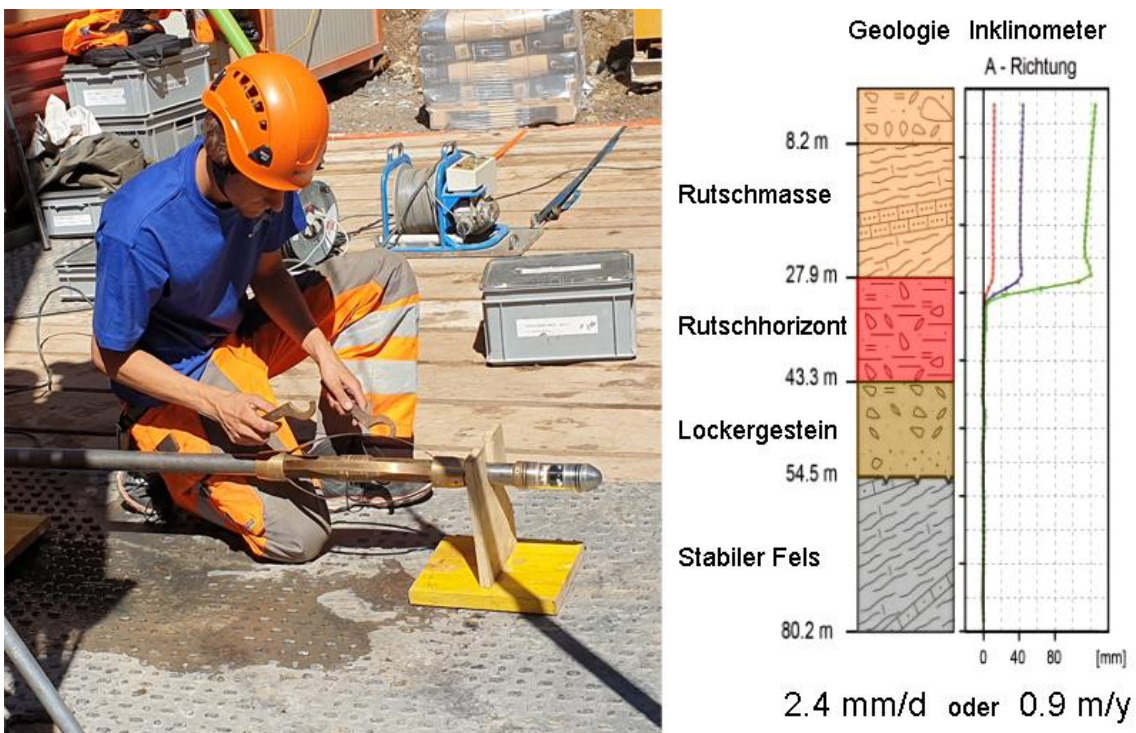


Abb. 3: Arbeiten im Feld (Vorbereitung von Bohrlochscanner) mit einem Beispiel von aufsummierten Inclinometermessungen, welche ein relatives Verschiebungsprofil ergeben. Die unterschiedlich gefärbten Linien der Inclinometermessung zeigen unterschiedliche Messepochen.