Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU

Gefahrenprävention 2020

Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren
Handbuch

Impressum

Herausgeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor
Geopraevent AG, 1. Ausgabe 2019. Entstanden auf Initiative der SBB.

Zitierung
Bundesamt für Umwelt (BAFU): Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren – Handbuch. Bern, 34 Seiten.

Bildquellennachweis
Geopraevent

PDF-Download
www.bafu.admin.ch (eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist nur in deutscher Sprache verfügbar.

© BAFU 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 4

2 Einführung Überwachungssysteme ... 5
2.1 Systemtypen ... 5
2.2 Betriebsarten ... 6
2.3 Aufbau eines Überwachungssystems ... 7
2.4 Systemkomponenten ... 8

3 Naturgefahrenprozesse (Auswahl) ... 9
3.1 Lawinen (Alarmsysteme) ... 9
3.2 Felsinstabilität / Steinschlag (Warnsystem) ... 11
3.3 Felsinstabilität / Steinschlag (Alarmsystem) ... 13
3.4 Murgänge ... 15
3.5 Rutschungen ... 17

4 Technologien (Auswahl) ... 19
4.1 Deformationsanalyse: Technologievergleich ... 19
4.2 Radar ... 21
4.2.1 Interferometrisches Georadar ... 22
4.2.2 Lawinenradar ... 23
4.2.3 Steinschlagradar ... 24
4.2.4 Personenradar ... 25
4.2.5 Pegelradar ... 26
4.3 Terrestrischer Laserscanner (Lidar) ... 27
4.4 Deformationskamera ... 28
4.5 Kluftmessgeräte ... 29
4.6 Geophone und seismische Sensoren ... 30
4.7 Reissleine ... 31
4.8 GNSS (GPS) ... 32
4.9 Kombisensor ... 33

5 Anhang: Symbole ... 34

1 Einleitung

Dieses Handbuch dient als Übersicht von digitalen Überwachungssystemen für gravitative Naturgefahren und als Entscheidungshilfe bei der Wahl eines geeigneten Überwachungssystems. Die Finanzierung (Subventionierung) dieser Systeme wird im Handbuch nicht behandelt. Wir verwenden dabei den Begriff «Überwachungssystem» als technische Anlage zur Langzeitüberwachung charakteristischer Parameter, zur Früherkennung eines bevorstehenden Ereignisses und zur Echtzeit-Erkennung eines Ereignisses unabhängig von der Betriebsart (permanent oder periodisch) und möglichen automatischen Aktionen[1]. Das Handbuch ist in folgende drei Teile gegliedert:

1. Einführung Überwachungssysteme

Es gibt zwei unterschiedliche Typen von Überwachungssystemen: Warn- und Alarmsysteme. Der erste Teil erklärt die beiden Systemtypen, ihre Einsatzgebiete und gibt Beispiele für Messgrössen und -technologien. Zudem wird der Aufbau eines Überwachungssystems und seine wichtigsten Komponenten erklärt. Überwachungssysteme sind stets Gesamtlösungen und umfassen den permanent messenden Sensor im Feld, die Alarmierung im Gefahrengebiet (z. B. Strassenschliessung) sowie die Visualisierung der Messdaten auf der Onlineplattform.

2. Naturgefahrenprozesse

Gravitative Naturgefahren umfassen Hochwasser, Lawinen, Rutschungen, Murgänge und Sturzprozesse (z.B. Stein-, Blockschlag, Fels-, Berg- oder Eissturz). Der Naturgefahrenprozess definiert massgeblich den Typ des Überwachungssystems, wobei bei einer Verkettung von Prozessen auch Warn- und Alarmsystem kombinierbar sind. So kann ein Gesamtsystem beispielsweise die Überwachung einer instabilen Felswand (Warnsystem) sowie ein weiter unten positioniertes Alarmsystem für Murgänge beinhalten, wie dies beispielsweise bei der Überwachungsanlage in Bondo der Fall ist.

Im zweiten Teil des Handbuchs werden für ausgewählte Prozesse mögliche Messtechnologien vorgestellt und miteinander verglichen. Die Technologien unterscheiden sich dabei nicht nur in ihrer Funktionsweise sondern auch bezüglich Gebietsabdeckung, Messgenauigkeit oder Verfügbarkeit (z.B. Einfluss des Wetters). Die Technologieauswahl entspricht dabei den gegenwärtig üblichen Methoden in der Naturgefahrenüberwachung und ist nicht abschliessend.

Das vorliegende Handbuch behandelt vorwiegend die Messtechnologien zur Überwachung von lokalen, relativ eng begrenzten Gebieten. Für die Überwachung ganzer Regionen oder von noch grösseren Gebieten wie auch der Talflüsse kommen weitere Systeme zum Einsatz (Abflussmessstationen etc.). Diese werden im vorliegenden Handbuch nicht behandelt.

3. Technologien

Im dritten Teil werden die einzelnen Technologien aus dem zweiten Teil genauer vorgestellt, Beispiele aufgeführt und Verweise zu weiterführenden Informationen angegeben. Unterschiedliche Technologien können einander im Rahmen eines Gesamtprojektes ergänzen oder weitere Technologien können bei einer Veränderung der Gefährdungssituation zu einer bestehenden Überwachungsanlage hinzugefügt werden. Die vorgestellte Auswahl an Technologien ist erneut nicht abschliessend.

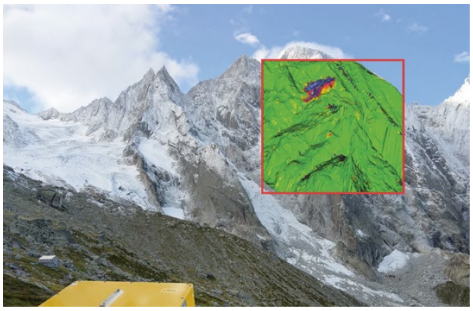
---

[1] nach der Definition von Überwachungs- und Frühwarnsystemen in
- BAFU (2015). Vollzugshilfe Schutz vor Massenbewegungsgefahren
- Sättele M., Bründl M. (2015) Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Bundesamt für Bevölkerungsschutz / BABS, Bern

2 Einführung Überwachungssysteme

2.1 Systemtypen

Generell ist bei der Überwachung von Naturgefahren zwischen zwei Systemtypen zu unterscheiden: einem Warnsystem und einem Alarmsystem. Kündigt sich ein Ereignis an, werden die Anzeichen vom Warnsystem überwacht und bei Zunahme der Dringlichkeit gehandelt. Handelt es sich um einen schnellen Prozess ohne messbare Vorboten, wird das Ereignis mit einem Alarmsystem erkannt und automatisch Sofortmassnahmen eingeleitet.

	Warnsystem	**Alarmsystem**
Funktion	Messung von Anzeichen eines bevorstehenden Ereignisses.	Automatische Erkennung des Ereignisses selbst.
Vorlaufzeit	Stunden – Wochen	Sekunden – Minuten
Aktionen	Interpretation der Erkenntnisse durch Experten. Mögliche Massnahmen werden «manuell» ausgelöst (z.B. Evakuierung).	Sofortige und automatische Aktionen, wie z.B. Sperrung von Strassen, Bahnen oder Evakuierung (z.B. Baustellen).
Anwendung	Sich langsam und kontinuierlich entwickelnde Naturprozesse (z.B. Felswände, Rutschungen)	Spontan auslösende oder schnell aufbauende Naturprozesse (z.B. Lawinen, Murgänge)
Messgrössen	Deformation, Niederschlag, Schneehöhe, Pegel, Temperatur, Aktivität (z.B. Steinschlag, Lawinen), Erschütterung	Deformation, Geschwindigkeit, Druck, Fliesshöhe, Pegel, Erschütterung
Technologien	• Interferometrisches Georadar • Deformationskamera • Kluftmessgeräte • Druck-, Neigungsmessgeräte • Bewegungssensoren, GPS • Wetterstationen	• Lawinenradar • Steinschlagradar • Personenradar • Pegelmessungen • Reissleinen
Beispiele	• Permanente Felsüberwachung Piz Cengalo, Bondo (Bild unten) • Überwachung Rutschung Moosfluh, Aletschgebiet	• Lawinenradar mit automatischer Strassensperrung, Zermatt (Bild unten) • Murgang-Alarmsystem, Spreitgraben
		

2.2 Betriebsarten

Es gibt unterschiedliche Betriebsarten eines Überwachungssystems:

- **Permanenter, langfristiger Betrieb** für beständige Gefährdungen (akut oder latent)
- **Permanenter, temporärer Betrieb** für vorübergehende Gefährdungen (z.B. Baustellen)
- **Periodischer, kurzzeitiger Betrieb** für Einzelmessungen (z.B. auf jährlicher Basis)

Die Wahl der Betriebsart hängt massgeblich von der Art des Naturgefahrenprozesses, der gewählten Überwachungstechnologie sowie des gefährdeten Gebietes ab. Die Überwachung eines akuten Problems erfordert häufige Messungen unabhängig von den herrschenden Sichtbedingungen (Tag / Nacht, Wetter). Bei langsamen, aktuell unkritischen Prozessen genügen möglicherweise gelegentliche Messungen, wobei das Messintervall zwischen täglich und jährlich schwanken kann.

Betriebsanforderungen

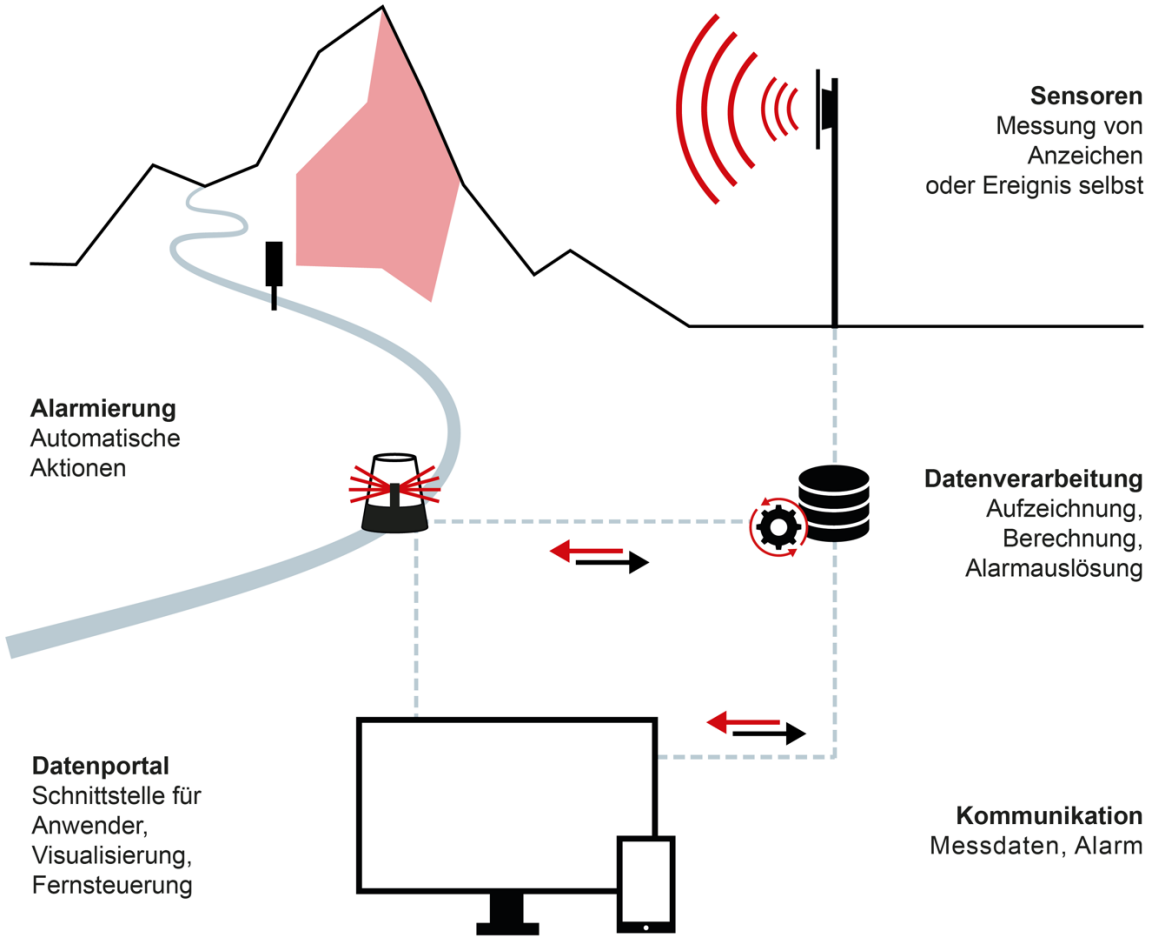
Der permanente Betrieb hat andere Anforderungen an das Überwachungssystem als der periodische Einsatz. In erster Linie muss die gewählte Überwachungstechnologie automatisierbar sein, d.h. die Messung, Datenanalyse und -übertragung laufen selbständig ab und der Benutzer kann die Daten online über das Datenportal abrufen. Zudem werden eine autonome Stromversorgung und, wenn eine hohe Verfügbarkeit erforderlich ist, redundante Systemkomponenten benötigt. Alarmsysteme müssen jederzeit einsatzfähig sein und demnach permanent betrieben werden. Warnsysteme können permanent langfristig, temporär oder periodisch eingesetzt werden.

	Permanent langfristig	**Permanent temporär**	**Periodisch temporär**
Systemtyp			
Datenanalyse, -übertragung & -darstellung	Automatisierte Auswahl- und Auswerteverfahren, kontinuierliche Datenübertragung mit Live-Views, Darstellung im Datenportal	Automatisierte Auswahl- und Auswerteverfahren, kontinuierliche Datenübertragung mit Live-Views, Darstellung im Datenportal	Manuelle Auswahl und Analysen, keine Einsicht in gemessene Daten über Datenportal, optionaler Messbericht
Anwendung	Häufigste Betriebsart von Überwachungssystemen	Bei akuter, temporärer Gefährdung meist mit Alarmierung	Nur für langsame, unkritische Prozesse
Beispiele	Lawinenradar oder Steinschlagradar zur permanenten Sicherung von Strassen oder Bahngeleisen	Interferometrische Radarmessungen zur Sicherung von Räumungsarbeiten nach einem Ereignis oder bei Baustellen	Jährlicher Laserscan und interferometrische Radarmessungen von Felswänden zur Erkennung von Instabilitäten

2.3 Aufbau eines Überwachungssystems

Eine Überwachungsanlage ist stets eine Systemlösung und besteht aus unterschiedlichen Komponenten. **Sensoren** messen die primären physikalischen Parameter des zu überwachenden Prozesses (z.B. Oberflächendeformation in mm/Tag oder Flusspegel in m). Der **Datenlogger** digitalisiert die Messwerte, zeichnet diese auf und führt Berechnungen aus. Handelt es sich um eine Alarmanlage, ist es der Datenlogger, der ein Ereignis erkennt und die **Alarmierung** auslöst (z.B. Ampeln / Schranken) sowie die zuständigen Personen per SMS, Mail, Funk etc. informiert. Für alle unsere permanenten Überwachungsanlagen werden sämtliche Messdaten, Bilder und Analysen zur Benutzeransicht an das passwortgeschützte **Online Datenportal** übertragen. Zudem können darüber Systemelemente wie z.B. Schranken oder Kameras fernbedient werden. Eine weitere wichtige Komponente eines Überwachungssystems ist die **Kommunikation**, sei es zur Übertragung des Alarmsignals oder der Messdaten sowie zur Fernsteuerung von Systemelementen. Je nach den örtlichen Gegebenheiten muss die Energieversorgung des gesamten Systems autonom erfolgen.

Für die permanente und zuverlässige Überwachung von Naturgefahren müssen die einzelnen Komponenten zudem den harschen Bedingungen im Hochgebirge trotzen, strenge Systemtests bestehen und mit mehreren Redundanzstufen ausgestattet sein (v.a. bei Alarmsystemen).



2.4 Systemkomponenten

Sensoren

Vielfalt an Sensoren verfügbar. Wahl hängt von Prozess, lokalen Gegebenheiten und Kundenanforderungen ab. Beispiele:

- **Lokale Messungen:** Kluftmessgeräte, Pegelradar, Geophone, GPS, Bewegungssensoren, Kraftmessgeräte
- **Fernmessungen:** Interferometrisches Radar, Deformationskamera, Lawinenradar, Steinschlagradar

Datenverarbeitung

Digitalisierung der Messdaten, Berechnungen, Auslösen von Alarm. Einsatz je nach

- Benötigter Rechen- / Speicherkapazität
- Messfrequenz
- Stromverbrauch
- Alarm-Logik
- Umweltanforderungen (z.B. wasserdicht, tiefe Temperaturen)

Alarmierung

Automatische Sperrung von Strassen, Bahnen oder Evakuierung von Baustellen.

- Ampeln / Schranken für Strassen
- Sirenen für Baustellen
- Funkgeräte mit Kopfhörer für lärmige Umgebungen (z.B. Bagger)
- Benachrichtigung über SMS, Email, automatisierte Anrufe (priorisierte Dienste)
- Weitere Schnittstellen (Alarmweitergabe)

Datenportal

Passwortgeschützte online Plattform für Benutzerzugang über PC, Smartphone oder Tablet. Funktionalität (je nach System):

- Darstellung Messwerte (Zeitreihen)
- Deformationsanalysen auf Höhenmodell
- Interaktive Karte mit Darstellung von Ereignissen (z.B. bei Lawinen)
- Live-Views, Bildarchiv der Kameras
- Fernsteuerung von Schranken / Kameras

Kommunikation

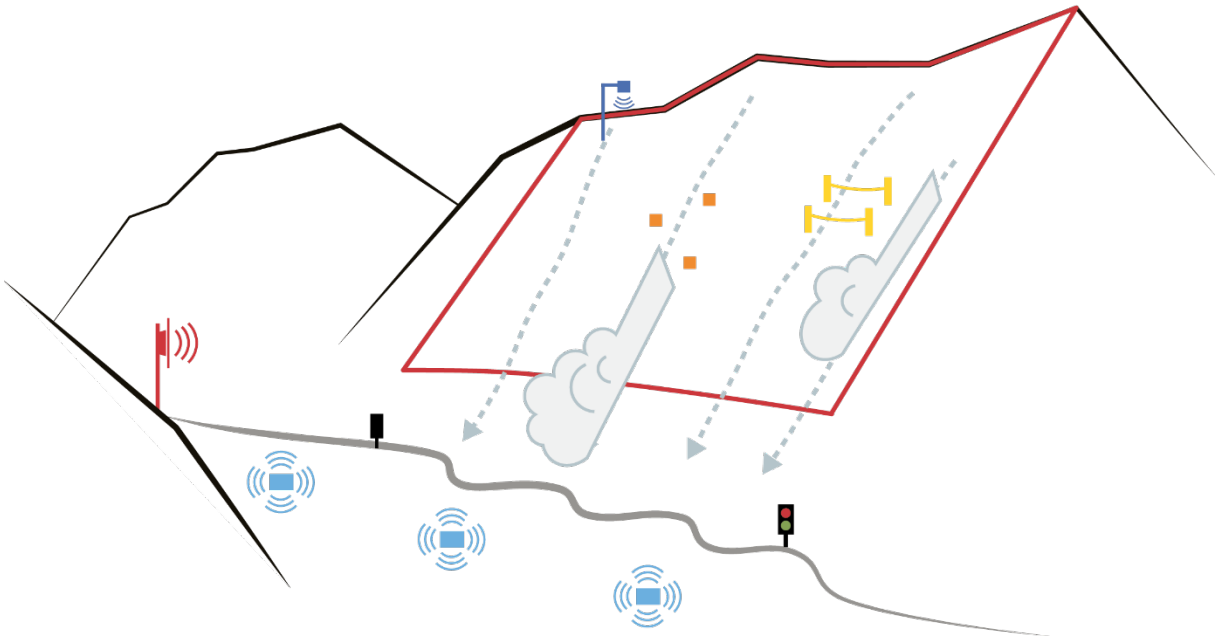
Datenübertragung zwischen Sensorik, Datenlogger, Alarmierung und Server.

- Mögliche Kommunikationskanäle: GSM (Mobilfunk), WiFi, Glasfaser, Funk, LoRAWAN (je nach Sensor)
- Zur Alarmierung empfehlen wir aus Redundanzgründen zwei unabhängige Kommunikationskanäle zu verwenden
- eigene (Richt-)Funksysteme möglich

3 Naturgefahrenprozesse (Auswahl)

3.1 Lawinen (Alarmsysteme)

Lawinen sind plötzliche Phänomene und können schwer vorhergesagt werden. Ein Alarmsystem mit automatischer Erkennung einer Lawine erlaubt es, eine Lawine möglichst frühzeitig (d.h. weit oben) zu erkennen und gefährdete Strassenabschnitte und Bahngeleise sofort zu schliessen oder Baustellen zu evakuieren. Zudem dient die automatische Lawinendetektion zur Erfolgsverifizierung bei der künstlichen Lawinenauslösung, insbesondere bei Dunkelheit und schlechten Wetterbedingungen. Es gibt verschiedene Detektionsmethoden, die sich je nach Anwendungsfall und Anforderung an das Alarmsystem für einen Einsatz eignen.



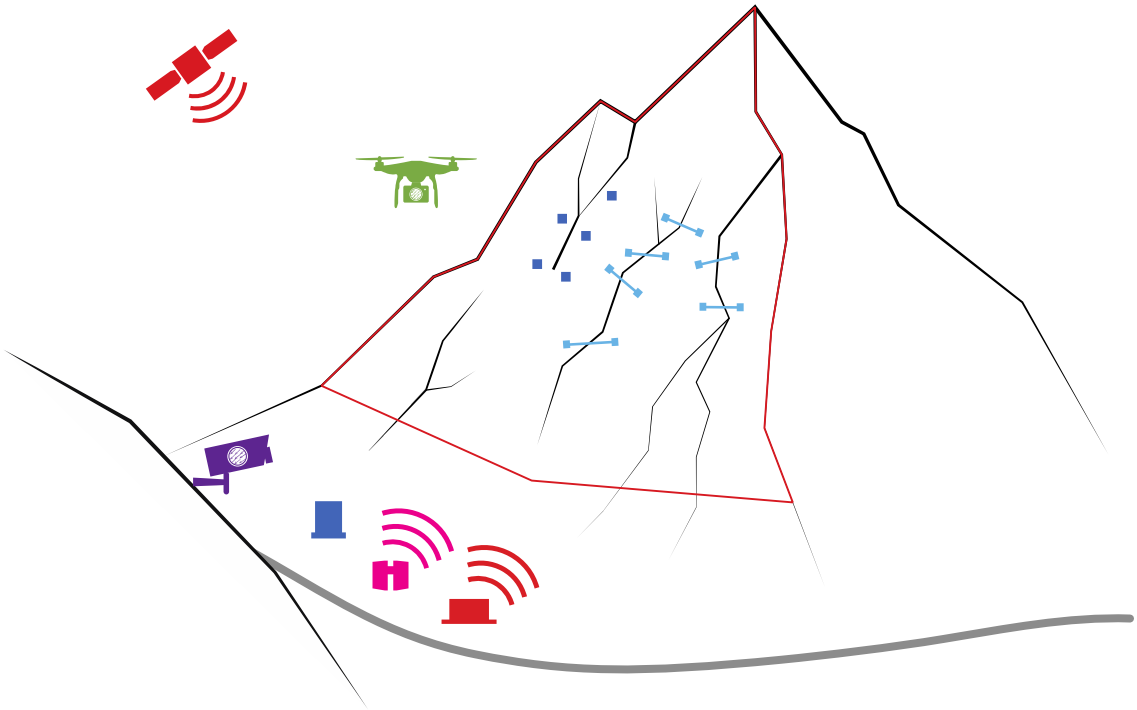
Lawinenradar	Geophone / Seismik	Reisslinie	Infraschall	Schneehöhe
Dopplerradar detektiert sich bewegende Schneemassen im ganzen Lawinenhang.	Erschütterungsmessung. Lawine wird erkannt anhand der erzeugten Erschütterung.	Lawine reisst beim Niedergang Sollbruchstelle und löst Alarm aus.	Lawine erzeugt Infraschall, welcher von Sensoren im Tal gemessen wird.	Detektion bei plötzlichem Abfall der Schneehöhe im Anrissgebiet.

	Lawinenradar	Geophone / Seismik	Reisslinie
Typ	Fernmessung, flächig	Lokale Messung, punktuell	Lokale Messung, punktuell
Eigenschaften	grosse Abdeckung, Lawinentracking und Kartierung	für einzelne, kanalisierte Lawinenzüge geeignet	einfach, kostengünstig, für einzelne Lawinenzüge
Gebiets-abdeckung	mehrere Lawinenzüge mit einem Radar. Reichweite: 5 km Abdeckung: 10 km^2	ein Lawinenzug mit mehreren Geophonen, grössere Gebiete mit Seismik-Arrays	ein Lawinenzug mit mehreren Reissleinen
Wettereinfluss	funktioniert bei jedem Wetter	funktioniert bei jedem Wetter	funktioniert bei jedem Wetter
Limitationen	Gebiet muss vom Radarstandort einsehbar sein	viel Schnee kann Signal dämpfen, andere Erschütterungsquellen (z.B. Erdbeben)	grössere Fehlalarmrate (z.B. durch Bäume oder Tiere), Reissleine muss nach jedem Ereignis ersetzt werden
Alarmsystem	einsetzbar	einsetzbar	einsetzbar

	Infrasound	Schneehöhe
Typ	Fernmessung, flächig	Lokale Messung, punktuell
Eigenschaften	grosse Abdeckung, zur Aktivitätsüberwachung	gibt Information über Anrisshöhe
Gebiets-abdeckung	Sturm (Wind) reduziert die Sensitivität	ein Ort in einem Lawinenzug
Wettereinfluss	Starke Winde reduzieren die Empfindlichkeit	Je nach Sensor Messung bei Schneefall, Sturm oder Nebel nicht zuverlässig
Limitationen	nicht alle Lawinen erzeugen genügend Infraschall (z.B. Nassschneelawinen), Wetter	Punktmessung, keine Detektionstechnologie, keine Information zu Lawinengrösse
Alarmsystem	Einsatz nicht empfohlen	Einsatz nicht empfohlen

3.2 Felsinstabilität / Steinschlag (Warnsystem)

Bei der Überwachung von Fels wird zwischen langsamen und schnellen Prozessen unterschieden. Unter langsamen Prozessen wird die Beschleunigung instabiler Zonen über längere Zeit (Stunden – Jahre) verstanden, während der schnelle Prozess den Abbruch selbst, bzw. damit verbundener Steinschlag darstellt. Dieser Abschnitt behandelt unterschiedliche Methoden zur Erkennung instabiler Zonen innerhalb grosser Felswände sowie deren langfristige Überwachung. Dabei kann die Überwachung permanent (bei akuten Instabilitäten) oder periodisch (bei nicht dringenden Problemen) erfolgen. Die Fernüberwachung ermöglicht es, grosse Bereiche aus sicherer Entfernung zu untersuchen während lokale Messungen punktuelle Informationen über die Instabilität geben.



Interferometrisches Georadar	Terrestrisches Lidar	Deformations-kamera	Total Station	Kluftmessgeräte
Abtasten der Felswand mit interferometrischem Radar zur Erkennung von Deformationen. Terrestrisch oder satellitengestützt.	Abtasten der Felsoberfläche mit Laser zur Erkennung von Deformationen.	Automatisierte Bildanalyse basierend auf hochaufgelösten Fotoaufnahmen zur Erkennung von Deformationen.	Punktuelle Positionsmessung bestimmter Punkte anhand eines reflektierten Lichtstrahls.	Punktuelle Messung einer Kluftweite (Telejointmeter) oder tiefergelegenen Felsbewegungen (Extensometer).
	Zukünftige Technologien: Mobile und flexible Messungen mithilfe von Drohnen werden bei verschiedenen Technologien (Kameras, Lidar, Radar) immer häufiger eingesetzt. Zuverlässige automatische Analysen sind jedoch noch in Entwicklung und noch nicht marktreif.			

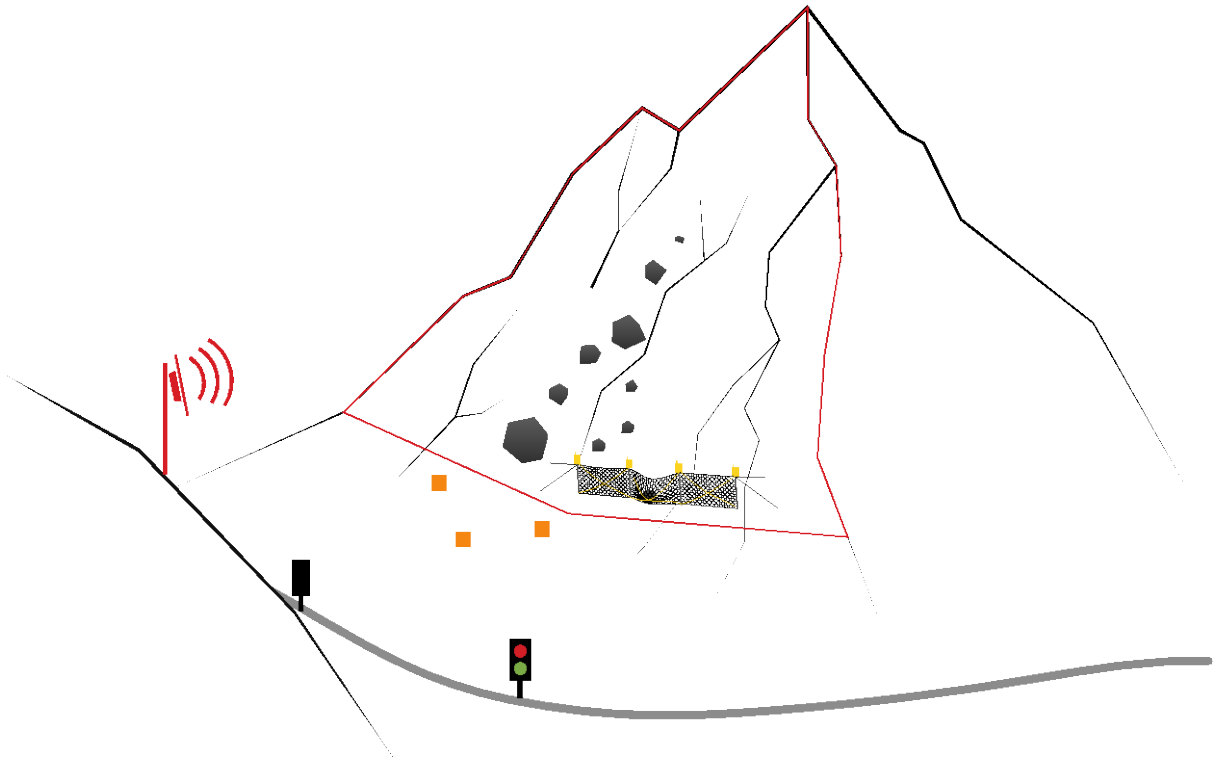
	Terrestrisches Georadar	Lidar	Deformationskamera
Typ	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig
Genauigeit*	sub-mm	einige cm	einige cm
Gebiets-abdeckung	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km^2	Reichweite: bis 4 km Fläche: mehrere km^2	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km^2
System-verfügbarkeit	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht) schnelle Installation	nur bei gutem Wetter (kein Nebel, Regen, Schnee), schnelle Installation	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag) schnelle Installation
Betriebsart	permanent / periodisch	periodisch	permanent / periodisch
Limitationen	Vegetation, Schnee, Re-flexionen (z.B. an Schutz-netzen)	Automatische Auswertung schwierig und permanente Messung unüblich. Schnee.	Genügend Kontrast für Bild-analyse. Schnee. Für akute Instabilitäten nicht geeignet.

	Totalstation	Kluftmessgeräte	Georadar (Stellit)
Typ	Fernmessung, punktuell	Lokale Messung, punktuell	Fernmessung, flächig
Genauigeit*	einige mm	sub-mm	einige mm – cm
Gebiets-abdeckung	Reichweite: mehrere km Fläche: mehrere km^2	Beliebig. Bei grossen Gebieten viele Geräte notwendig.	West / Osthänge (Nord / Südexpositionen nicht einsehbar)
System-verfügbarkeit	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag / Nacht)	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)	je nach Wiederkehrzeit des Satellits, Messungen aus der Vergangenheit verfügbar
Betriebsart	permanent / periodisch	permanent / periodisch	periodisch
Limitationen	punktuelle Aussage, Spie-gelinstallation im instabilen Gebieten, Messung ev. un-möglich wenn sich Instabili-tät verschiebt. Schnee.	punktuelle Aussage, Installa-tion im Gefahrenbereich, Sensoren können durch grosse Deformation oder Steinschlag zerstört werden.	Abdeckung oft problema-tisch. Zu lange Wiederkehr-dauer für akute Probleme. Schnee.

* der Deformationsanalyse. Abhängig von der Messdistanz.

3.3 Felsinstabilität / Steinschlag (Alarmsystem)

Dieser Abschnitt behandelt die schnellen Prozesse innerhalb der Felsüberwachung. Mithilfe eines Steinschlagalarmsystems können bedrohte Verkehrsachsen in Echtzeit gesperrt oder Baustellen evakuiert werden. Die automatische Detektion von Steinschlag wird zudem zur Aktivitätsbeobachtung eines instabilen Gebietes eingesetzt. Grundvoraussetzung für ein Alarmsystem ist genügend Vorwarnzeit zwischen Detektion des Ereignisses und Auftreffen im gefährdeten Gebiet, z.B. ein auslaufendes Gelände mit Strasse. Kombinationen von Überwachungslösungen von langsamen und schnellen Prozessen ist in gewissen Fällen sinnvoll. Zusätzlich können Schutzsysteme zur Zustandsüberwachung mit Sensoren ausgestattet werden und bei einem Einschlag zur Alarmierung verwendet werden.



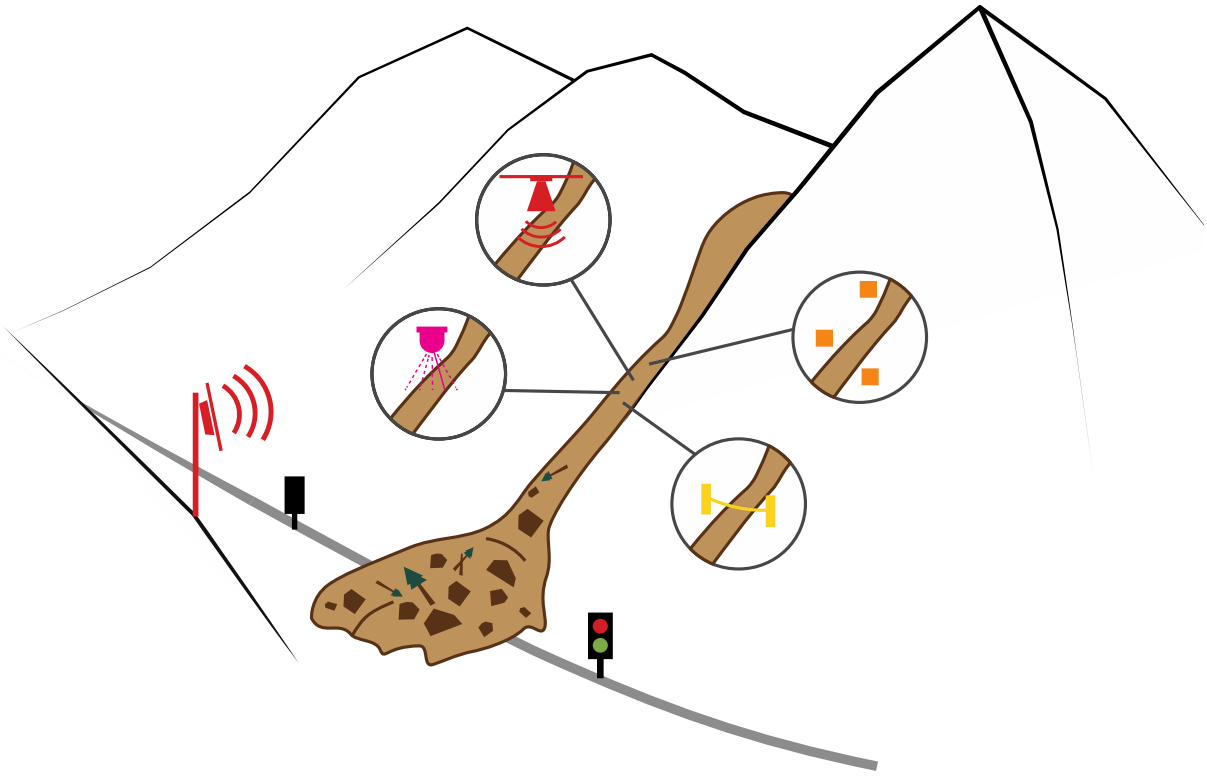
Steinschlag-radar	Seismischer Sensor	Kombisensor
Dopplerradar scannt Gebiet permanent und detektiert sich bewegende Felsblöcke.	Seismischer Sensor erkennt Steinschlag anhand der dadurch erzeugten Erschütterung.	Zustandsüberwachung der Steinschlag-Schutznetze mit Kombisensor (Erschütterung und Neigung) und Reissleine.

	Steinschlagradar	**Seismischer Sensor**	**Kombisensor**
Typ	Fernmessung, flächig	Lokale Messung, flächig	Lokale Messung, punktuell
Eigenschaften	Lokalisierung, Tracking und Kartierung der Ereignisses	grosse Abdeckung, keine Sichtverbindung notwendig	Erkennung eines Einschlages in Schutznetz, Übersichtliche Zustandsdarstellung aller Netze
Sensitivität	bis 0,1 m^3 in 100 m, 1 m^3 in 1 km	geringer als Radar, situationsabhängig*	kleine Ereignisse werden nur von Erschütterungssensor erkannt, grössere Ereignisse lösen Reissleine und Alarm aus.
Gebietsabdeckung	Reichweite: bis 4 km, Fläche: mehrere km^2	Reichweite: bis 20 km, situationsabhängig*	Idealerweise ein Kombisensor pro Pfosten und zwei Reissleinen pro Netz
Wettereinfluss	funktioniert bei jedem Wetter	funktioniert bei jedem Wetter	funktioniert bei jedem Wetter
Limitationen	Gebiet muss vom Radarstandort einsehbar sein, Reflexionen (z.B. an Schutznetzen)	Viele potentielle Störfaktoren (z.B. Helikopter)	Reissleine muss nach Ereignis manuell instandgesetzt werden. Fehlalarme durch Schnee oder andere Objekte
Alarmsystem	einsetzbar	Einsatz nicht empfohlen	einsetzbar
Aktivitätsüberwachung	einsetzbar	einsetzbar	einsetzbar

* abhängig von Untergrund, Distanz, verwendetem seismischen Sensor und Ereignisgrösse

3.4 Murgänge

Murgänge gehören zu den schnell aufbauenden Prozessen und erfordern den Einsatz eines Alarmsystems mit automatischen Aktionen, wie beispielweise einer Strassensperrung oder Baustellenalarm zur Evakuierung. Es gibt unterschiedliche Methoden zur Detektion eines Murgangs, wobei die meisten im oder über dem Bachbett installierte Lösungen sind. Ein Murgang ist ein Strom aus Schlamm, Gesteinsmaterial und Wasser mit einer oft turbulenten, nicht klar definierten Oberfläche, was die Messung erschwert. Zur Fernmessung eignet sich bei guter Einsicht in die Rinne das Murgangradar, welches grosse Gebiete mit einem Sensor abzudecken vermag.



Pegelradar	Geophone	Reisslinie	Laser	Murgangradar
Distanzmessung von Pegelradar zum Bach; Murgangdetektion bei rapidem Pegelanstieg.	Ein Murgang wird anhand der erzeugten Erschütterung im Graben erkannt.	Der Murgang reisst die Sollbruchstelle der Reissleine und löst Alarm aus.	Pegelmessung oder Profilscan des Grabens mit Laser; Murgangdetektion bei rapider Veränderung.	Dopplerradar erkennt Massenbewegung im Graben aus der Ferne und löst Alarm aus.

	Pegelradar	Geophone	Reisslinie
Typ	Lokale Messung, punktuell	Lokale Messung, punktuell	Lokale Messung, punktuell
Eigenschaften	Ständige Überwachung des Bachpegels	robuste Sensoren, keine Installation über Graben nötig	einfache und kostengünstige Lösung
Gebiets-abdeckung	min. 2 Pegelradare für einen Graben (Redundanz) Reichweite Sensor: bis 50 m	min. 2 Geophone für einen Graben (Redundanz)	min. 2 Reissleinen für einen Graben (Redundanz)
Wetter-einfluss	bei jedem Wetter (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)	bei jedem Wetter (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)	bei jedem Wetter (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)
Limitationen	Sichtbarer Bachbereich beschränkt	Keine Pegelinformation, Kalibration anhand einiger Ereignisse nötig, Signal von Art des Murgangs abhängig	keine Pegelinformation, Reissleine muss nach Ereignis ersetzt werden
Alarmsystem	einsetzbar	meistens einsetzbar	einsetzbar

	Laser-Scanner	Murgang-Radar
Typ	Lokale Messung, punktuell	Fernmessung, flächig
Eigenschaften	Ständige Überwachung des Bachpegels / -profils	Lokalisierung, Tracking und Mapping auf Datenportal
Gebiets-abdeckung	Reichweite: bis ca. 30 m	Reichweite: bis 4 km, Fläche: mehrere km^2
Wettereinfluss	auf kurze Distanzen bei jedem Wetter	bei jedem Wetter (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)
Limitationen	Laser misst nicht zuverlässig bei Regen oder Nebel sowie bei turbulenter Oberfläche.	Einsicht in Graben muss gegeben sein. Reflexionen (z.B. an Bauten)
Alarmsystem	bedingt empfohlen	einsetzbar

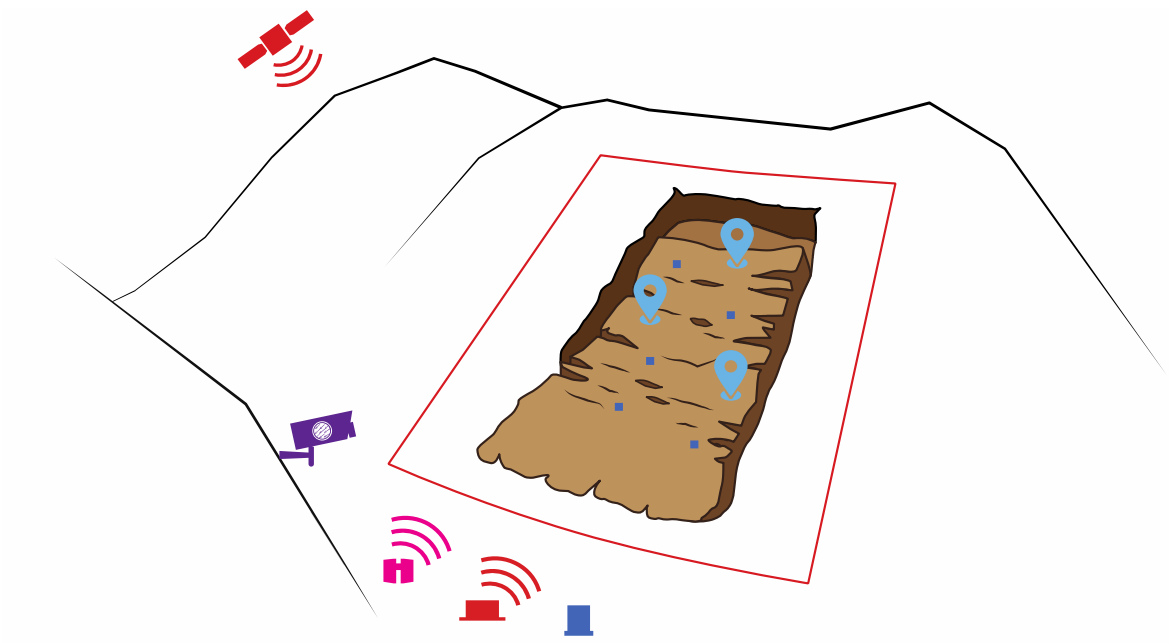
Bemerkungen

Redundanz: Wir empfehlen je nach Technologie den Einsatz mehrerer Sensoren aus folgenden Gründen:

- Abdeckung des gesamten Bachbettes / Bereiches bei breiten Graben (z.B. Pegelradar, Reissleinen)
- Störquellen; Signal eines Sensors ist nicht zuverlässig genug (z.B. bei Geophonen)
- Kombination zweier Sensoren unterschiedlicher und unabhängiger Technologien

3.5 Rutschungen

Ähnlich wie bei Felsinstabilitäten werden bei Rutschungen die instabilen Gebiete langfristig überwacht, um eine Beschleunigung frühzeitig zu erkennen. Hangbewegungen wie Kriechen, Gleiten oder Fliessen gehören zu den langsamen Prozessen, wo der Einsatz eines Warnsystems sinnvoll ist. Zur Überwachung von Rutschungen gibt es unterschiedliche Methoden: von der Fernerkundung mit Radar über Drohnenflüge mit Lidar zur lokalen GPS-Ortung mehrerer Messpunkte im Rutschgebiet. Optional können beim Überschreiten von Schwellenwerten (z.B. Rutschgeschwindigkeit eines Bereiches) automatisch Warnungen versendet werden.



Interferom. Georadar	Terrestrisches Lidar	Deformations-kamera	Total Station	GNSS (GPS)
Abtasten der Felswand mit interferometrischem Radar zur Erkennung von Deformationen. Terrestrisch oder satellitengestützt.	Abtasten der Felsoberfläche mit Laser zur Erkennung von Deformationen.	Automatisierte Bildanalyse basierend auf hochaufgelösten Fotoaufnahmen zur Erkennung von Deformationen.	Punktuelle Positionsmessung bestimmter Punkte anhand eines reflektierten Lichtstrahls.	Punktuelle Positionsmessung bestimmter Punkte mit GPS und GPS-Referenzstation.

Zukünftige Technologien: Mobile Messungen mithilfe von Drohnen werden bei diversen Technologien (Kameras, Lidar, Radar) immer häufiger eingesetzt. Zuverlässige automatische Analysen sind jedoch noch in Entwicklung und noch nicht marktreif.

	Terrestrisches Georadar	Terrestrisches Lidar	Deformationskamera
Typ	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig
Genauigkeit*	sub-mm	einige cm	einige cm
Gebiets-abdeckung	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km^2	Reichweite: bis 4 km Fläche: mehrere km^2	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km^2
System-verfügbarkeit	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht) schnelle Installation	nur bei gutem Wetter (kein Nebel, Regen, Schnee), schnelle Installation	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag) schnelle Installation
Betriebsart	permanent / periodisch	periodisch	permanent / periodisch
Limitationen	Vegetation, Schnee, Reflexionen (z.B. an Schutznetzen)	Vegetation, Schnee. Automatische Auswertung schwierig. Permanente Messung unüblich.	Vegetation, Schnee. Genügend Kontrast. Für akute Instabilitäten nicht geeignet.

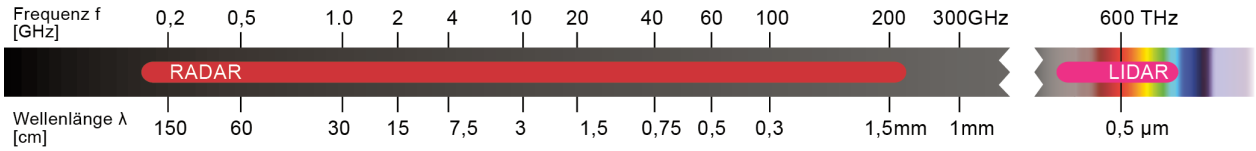
	Totalstation	GNSS (GPS)	Georadar (Stellit)
Typ	Fernmessung, punktuell	Lokale Messung, punktuell	Fernmessung, flächig
Genauigkeit*	einige mm	ca. 1 cm	einige mm–cm
Gebiets-abdeckung	Reichweite: mehrere km Fläche: mehrere km^2	Beliebig. Bei grossen Gebieten viele Geräte notwendig.	West / Osthänge (Nord / Südexpositionen nicht ein-sehbar)
System-verfügbarkeit	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag / Nacht)	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag / Nacht)	je nach Wiederkehrzeit des Satellits, Messungen aus der Vergangenheit verfügbar
Betriebsart	permanent / periodisch	permanent / periodisch	periodisch
Limitationen	Vegetation, Schnee. Nur punktuelle Information über Rutschung, Installation im Gefahrenbereich	nur punktuelle Information, Installation im Gefahren-bereich, Sichtbarkeit der Satelliten (enge Täler!)	Vegetation, Schnee. Abde-ckung oft problematisch. Zu lange Wiederkehrdauer für akute Probleme.

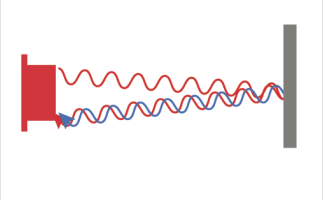
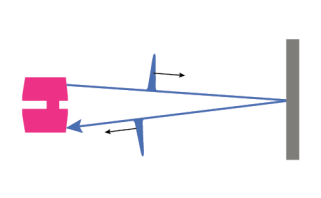
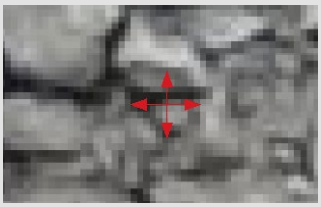
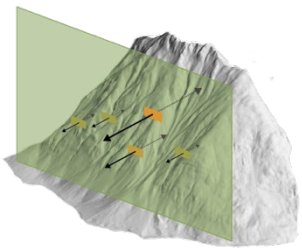
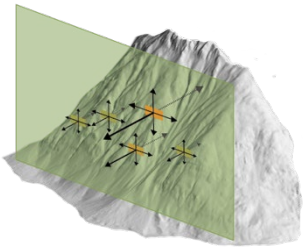
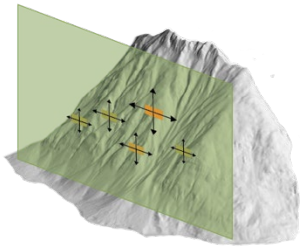
* der Deformationsanalyse. Abhängig von der Messdistanz.

4 Technologien (Auswahl)

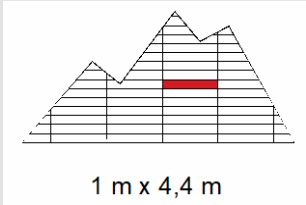
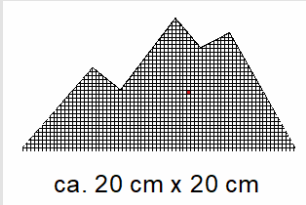
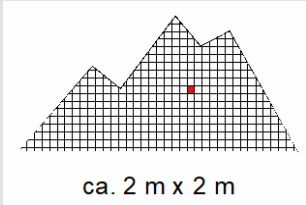
4.1 Deformationsanalyse: Technologievergleich

Mithilfe der Deformationsanalyse können Fels- und Gletscherbewegungen flächig und aus der Ferne erkannt sowie langfristig verfolgt werden. Die Analyse beruht dabei immer auf dem Vergleich zweier Messungen (oder Bildaufnahmen) in einem bestimmten Zeitintervall. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick der gebräuchlichsten Technologien (Radar, Lidar, Kamera) für die Ermittlung von Deformationen im Naturgefahrenbereich. Dabei nutzen alle elektromagnetische Strahlen, jedoch in unterschiedlichen Frequenzbereichen:



	Interferometrisches Radar	Terrestrisches Lidar	Deformationskamera
Typ	relative Fernmessung, 2D (mit Höhenmodell 3D)	absolute Fernmessung, 3D	relative Fernmessung, 2D (mit Höhenmodell 3D)
Frequenz / Wellenlänge	Mikrowellen (17 GHz)	Nahes Infrarot (800–1600 nm)	Sichtbares Licht (380–780 nm)
Messprinzip (Vereinfacht)	 Radar misst Phase der reflektierten Mikrowellen. → Fels bewegt sich → erneute Messung vom selben Standort aus → Veränderung der Phase der Mikrowellen → Vergleich zweier Messungen und Berechnung der Deformation	 Lidar misst Laufzeit eines reflektierten Lichtpulses. → Distanz zum Fels → Georeferenzierung, Klassifizierung etc. → 3D-Modell / Punktwolke → Vergleich zweier Punktwolken und Berechnung der Deformation	 Hochaufgelöste Aufnahmen (42 Megapixel) von Fels oder Gletscher. → Vergleich zweier Bilder durch Abgleich einzelner Pixelpakete → Berechnung der Deformation
Gemessene Bewegungsrichtung	 Blickrichtung des Radars	 Blickrichtung und Querebene	 Querebene der Blickrichtung

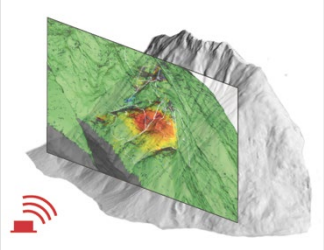
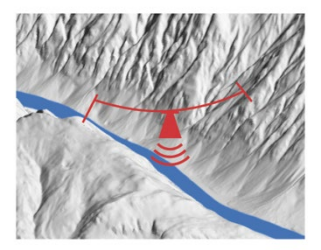
Deformationsanalyse: Technologievergleich

	Interferometrisches Radar	Terrestrisches Lidar	Deformationskamera
Räumliche Auflösung (1 km Entfernung, 45° Grad Neigung)*			
Wetter (funktioniert bei)			
Atmosphäre	Die Atmosphäre (d.h. Luftfeuchte, Luftdruck, Temperatur, Wind, Turbulenzen) beeinflusst die Propagation von elektromagnetischen Wellen. Je nach Wellenlänge ist dies unterschiedlich stark ausgeprägt und kann mehr oder weniger gut korrigiert werden.		
	Änderungen der Atmosphäre führen zu **Fehlern von mehreren Millimetern**. Mittels stabilen Gebieten können diese grösstenteils korrigiert werden.	Aufgrund **kurzer Wellenlänge** (Lidar und sichtbares Licht in vergleichbarem Bereich) kann der Atmosphären-Einfluss zu **mehreren Zentimetern Fehler** führen, was einem Vielfachen der Wellenlänge entspricht. Mittels stabil erachteten Gebieten kann der Fehler korrigiert werden, führt aber dennoch zu **Einbussen in der Genauigkeit** der Deformationsanalyse.	
Reflektivität	Sehr gute Ergebnisse an Felsen und Gletschern. Auf losem Untergrund (z.B. Geröll, Bewuchs) geht Kohärenz verloren und damit die Vergleichbarkeit der Messungen.	Sehr gute Ergebnisse an allen massiven Objekten. Funktioniert nicht für Wasser (= transparent) und Schnee (= absorbierend).	Wie menschliches Auge
Genauigkeit Deformations alanyse*	**0,5 – 2 mm** (in Blickrichtung)	**1–10 cm** (in Blickrichtung und Querebene dazu)	**1–10 cm** (in Querebene zu Blickrichtung)
Empfohlener Einsatz	Für die permanente / periodische, **wetterunabhängige Überwachung kleinster Deformationen** (mm pro Tag bis mehrere Jahre), z.B. bei kritischen Instabilitäten.	Für periodische Messungen zur **Ermittlung grösserer Bewegungen** über längere Zeiträume (1–10 cm) und zur **Volumenabschätzung**. Für DTM, falls keines vorhanden.	Für unkritische Instabilitäten und wo es das Wetter zulässt zur **kosteneffizienten Langzeitüberwachung** (Erkennen einer Situationsveränderung / Beschleunigung).

* unter optimalen Bedingungen. Auflösung ist geräte- und distanzabhängig bzw. hängt von verwendetem Objektiv und Linse ab.

4.2 Radar

Radar steht für **Ra**dio **d**etection **a**nd **r**anging und bezieht sich auf verschiedene Detektions- und Ortungsverfahren. Ein Radargerät sendet gebündelte elektromagnetische Wellen im Mikrowellenbereich aus, welche an einem Objekt reflektieren, vom Gerät empfangen und nach unterschiedlichen Kriterien ausgewertet werden. Dabei funktioniert Radar unabhängig von den herrschenden Sichtbedingungen, bei Tag / Nacht, Nebel oder Schneefall. In der Überwachung von Naturgefahren kommen die folgenden drei Radartypen zum Einsatz:

	Interferometrisches Georadar	**Doppler-Radar**	**Pegel-Radar**
Typ	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig	Lokale Messung, punktuell
Frequenz*	17 GHz	10 GHz	24 GHz
Messprinzip (vereinfacht)	 Das interferometrische Georadar misst die Phase der reflektierten Mikrowellen. Verändert sich diese, lassen sich kleinste Oberflächenverformungen erkennen.	Das Doppler-Radar nutzt den Doppler-Effekt sich bewegender Objekte und kann zwischen stationären und bewegten Zielen unterscheiden, diese verfolgen und ihre Geschwindigkeit messen.	 Das Pegelradar sendet kurze Radarimpulse in Richtung Oberfläche, wo sie reflektiert und vom Radarsystem wieder empfangen werden. Aus der Laufzeit berechnet sich der Abstand zur Oberfläche.
Anwendung	Deformationsanalyse von Felsinstabilitäten und Gletschern mit sub-mm Genauigkeit.	Automatische Detektion von Massenbewegungen wie Lawinen, Steinschlag, Murgängen oder auch Personen mit Alarmierung.	Automatische Detektion von Murgängen, Flutwellen oder Hochwasser mit Alarmierung.
Mehr Infos	Seite 22	Seite 23, 24, 25	Seite 26
Beispiel einer Station			

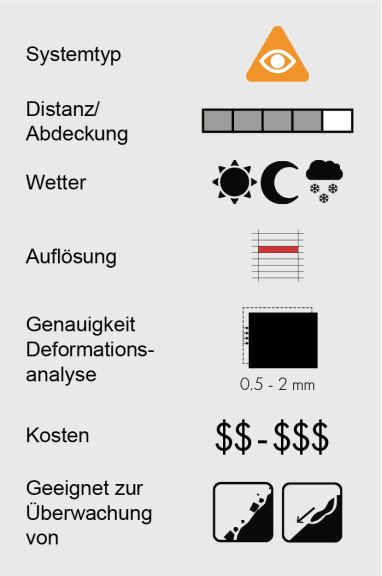
* Frequenz(bereich) der von uns eingesetzten Radargeräte.

4.2.1 Interferometrisches Georadar

Das interferometrische Georadar eignet sich für die grossflächige Überwachung von unbekannten Fels- oder Gletscherinstabilitäten und liefert wertvolle Einsichten über instabile Zonen. Mithilfe des Georadars können grossen Instabilitäten aus sicherer Entfernung unabhängig von Wetter und Tageszeit dauerhaft überwacht und Abbrüche früh erkannt werden.

Vorteile

- **Grossflächige, sehr zuverlässige Fernüberwachung** von Felswänden und Gletschern
- Erkennen von Deformationen mit **sub-mm Genauigkeit**
- **Früherkennung** von Fels- und Gletscherabbrüchen, inkl. Abschätzung von Abbrüchen (Fläche/Volumen)
- Zusätzliche Analyse von **langsamen Bewegungen (mm pro Wochen bis Jahre)** mit Geopraevent Software möglich
- Reichweite bis zu **5 km**, Fläche von über **5 km²**
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag/Nacht) sowie gebirgstauglich
- **Permanente** oder **periodische** Messungen möglich (je nach Dringlichkeit der Gefahr), Schnelle Installation
- Sämtliche Messdaten, Analysen und Webcam-Bilder im **Geopraevent Online Datenportal** (permanente Messungen)



Limitationen

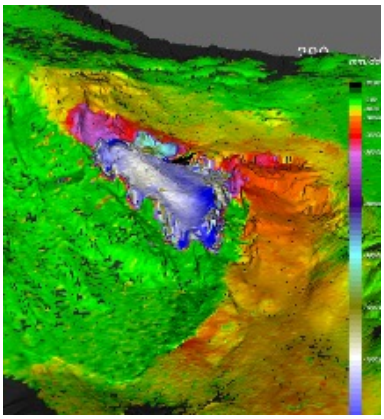
- Bedeckung (wie z.B. Vegetation, Schutznetze oder Schnee) ist für das Radar nicht transparent und stört die Messung.
- Nur Bewegungskomponente in die Radarstrahlrichtung messbar.
- Das Radar misst differentielle (relative) Veränderungen und nicht absolute Positionen.

Beispiele

Bondo, Schweiz
Permanente Überwachung von Piz Cengalo seit dem Bergsturz 2017. Zusätzlich Analyse der langsamen Bewegungen (mm über Monate) und korrekte Vorhersage mehrerer kleiner Ereignisses.

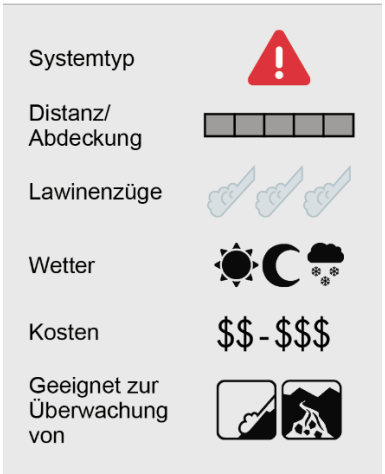
Weissmies-Gletscher, Schweiz
Die Deformationskamera erkannte eine rasche Beschleunigung am Hängegletscher. Sofortige Installation des Georadars und korrekte Vorhersage des grossen Abbruchs vom 10. September 2017.

Preonzo, Schweiz
Kurzzeitige Überwachung der Instabilität und korrekte Vorhersage des Bergsturzes vom 15. Mai 2012.



4.2.2 Lawinenradar

Das Lawinenradar ist ein System zur automatischen Erkennung und zum Tracking von Lawinen unabhängig von den herrschenden Sichtbedingungen. Es sucht den Zielhang ununterbrochen nach startenden Lawinen ab und alarmiert bei einer Detektion automatisch, z.B. mit einer Strassenschliessung.



Vorteile

- Sehr zuverlässige Detektionstechnologie mit grosser **Gebietsabdeckung (bis 10 km²)** und **Reichweite (5 km),** weltweit einzigartig
- Abdeckung **mehreren Lawinenzüge** mit einem einzigen Lawinenradar (weltweit einzigartig)
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit
- **Automatisches Auslösen von Alarm** in Echtzeit (z.B. Schliessen von Strassen mit Ampeln und Schranken)
- **Automatische Wiederöffnung** wenn keine Gefahr mehr besteht (weltweit einzigartig)
- **Unterschiedliche Sensitivität** für Subregionen möglich (einzigartig)
- **Übersichtliche Kartendarstellung** der Lawine mit Pfad, Grösse, Geschwindigkeit und Fotos (bei Sicht)
- Zugang zu sämtlichen Lawinendaten, Live-Views und Bedienung von Schranken/Signalen über das **Online Datenportal**
- Integration mit **Smartphone** und **Tablet**

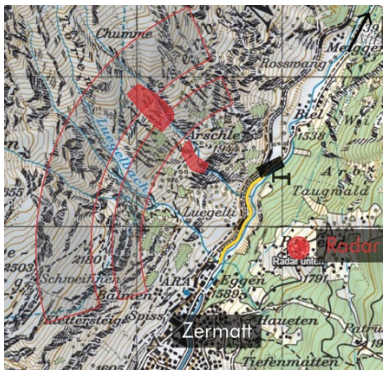
Limitationen

- Nur Ereignisse im Zielgebiet des Radars. Abgeschattete Gebiete können nicht eingesehen werden.
- Ereignis muss eine bestimmte Grösse (einzelne Schneepakete sind zu klein) und eine Mindestdauer von ein paar Sekunden haben.

Beispiele

Zermatt, Schweiz
Sicherung der Zufahrtsstrasse mit automatischer Strassenschliessung. Operativ seit 2015, weltweit erstes System dieser Art.

Randa, Schweiz
Radar mit Reichweite von 5 km Entfernung. Mit automatischer Schliessung und Wiederöffnung von Strasse und Bahn.



4.2.3 Steinschlagradar

Die automatische Detektion von Steinschlag eignet sich zur Überwachung (z.B. Steinschlagaktivität) oder dank der Echtzeiterkennung zur Alarmierung (z.B. mit Strassensperrung). Je nach Ausgangslage kann das Steinschlagradar anstelle von baulichen Massnahmen oder als Ergänzung zu diesen eingesetzt werden.

Systemtyp	⚠
Distanz/ Abdeckung	■■■□□
Wetter	☀ ☾ ❄
Kosten	$$-$$$
Geeignet zur Überwachung von	

Vorteile

- Automatische Erkennung fallender Steine/Felsbrocken
- Reichweite über **1 km**, Abdeckung **1 km²**
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht)
- **Automatisches Auslösen von Alarm** in Echtzeit (z.B. Schliessen von Strassen mit Lichtsignalen und Schranken)
- **Übersichtliche Kartendarstellung** mit Falllinie, Grösse, Geschwindigkeit und Fotos (bei Sicht)
- Jederzeit Zugang über **Online Datenportal** zu sämtlichen Daten, automatischen Bildern und Bedienung von Kamera und Schranken/Signalen
- Integration mit **Smartphone** und **Tablet**

Limitationen

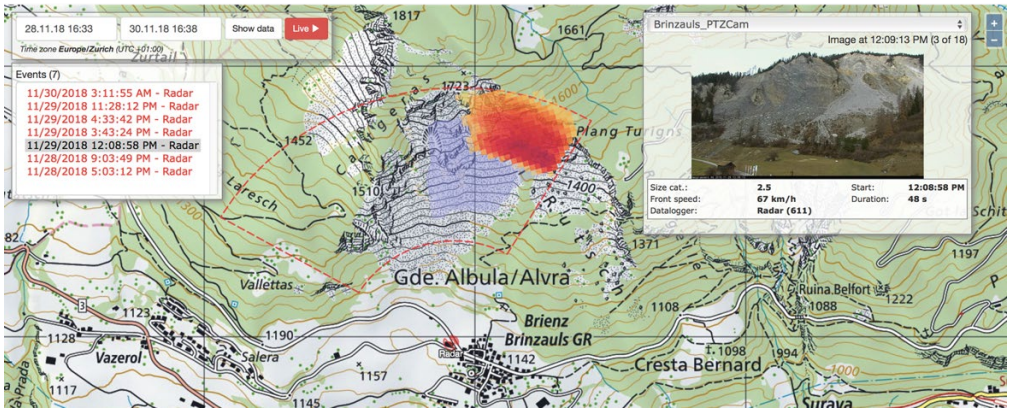
- Nur Ereignisse im Zielgebiet des Radars werden erfasst.
- Nur Ereignisse von genügender Grösse werden erfasst.
- Die Detektion von Einzelblöcken ist momentan nur eingeschränkt möglich.

Beispiel

Brinzauls, Schweiz
Überwachung Steinschlaggebiet mit automatischer Strassenschliessung und Wiederöffnung. Weltweit erstes Systeme dieser Art.

Mehr Informationen

Wissenschaftliche Publikation
Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection (RocExs 2017), Barcelona, Spanien



4.2.4 Personenradar

Das Personenradar erkennt sich bewegende Personen und wird zur Gebietssicherung bei der künstlichen Auslösung von Lawinen angewendet. Mithilfe dieses Radarsystems haben die zuständigen Dienste bei Tag und Nacht sowie bei jedem Wetter stets den Überblick, ob und wo sich Skitourengeher oder Wanderer im Gebiet aufhalten.

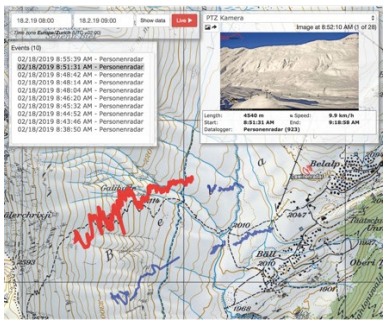
Systemtyp	
Distanz/ Abdeckung	
Wetter	
Kosten	$$-$$$
Geeignet zur Überwachung von	

Vorteile

- Automatische Detektion von Personen mit einer **Reichweite** von **1 km** und Gebietsabdeckung bis **1 km²**)
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit
- **Detektion, Tracking und Mapping** sämtlicher Bewegungen im Gebiet mit **automatischen Bildserien**
- Definieren von **virtuellen Zonen** und entsprechende **Alarmierung in Echtzeit** (z.B. akustischer / visueller Alarm beim Betreten eines gesperrten Gebietes)
- **Übersichtliches online Kontrollzentrum** mit Anlagenstatus, letzten Bewegungen, aktuellen Webcam-Bildern, Bedienung von Schranken etc.
- Integration mit **Smartphone** und **Tablet**
- **Kombination** von mehreren Radaren zur Abdeckung eines **grösseren Gebietes** oder **mehrerer neuralgischen Stellen**
- Daten werden automatisch wieder gelöscht **(Datenschutz)**

Limitationen

- Nur Ereignisse im Zielgebiet des Radars. Abgeschattete Gebiete können nicht eingesehen werden.
- Das Radar erkennt ebenso sich bewegende Tiere. Es ist jedoch möglich, Detektionen von Kleintieren herauszufiltern.



Beispiele

Zermatt, Schweiz
Vier Stationen mit Personenradar, Kameras und teilweise Schranken mit Alarmierungsoption falls die Sperrung missachtet wird.

Belalp, Schweiz
Gekoppeltes System mit Lawinen- und Personenradar zur grossflächigen Überwachung des Anrissgebietes der Gratlawine, die häufig künstlich ausgelöst wird.

Val Bever, Schweiz
Künstlich ausgelöste Lawinen gefährden beliebtes Skitourenziel: Das Personenradar dient der Überprüfung vor geplanten Sicherungsaktionen.

4.2.5 Pegelradar

Das Pegelradar misst unabhängig vom herrschenden Wetter stets zuverlässig die Fliesshöhe eines Gewässers. Ein plötzlicher Anstieg des Pegels (z.B. Murgang, Flutwelle) löst Alarm aus und schliesst Strassen oder evakuiert Baustellen.

Systemtyp	⚠
Distanz/ Abdeckung	■□□□□
Wetter	☀ ☾ ❄
Kosten	$-$$
Geeignet zur Über-wachung von	

Vorteile

- **Zuverlässigste Technologie** zur Pegelmessung von turbulenten Oberflächen, wie z.B. bei Murgängen oder Flutwellen
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht)
- **Berührungsloses Messen** und keine Beeinträchtigung bei / nach einem Ereignis (Befestigung z. B. unter einer Brücke oder über dem Bachbett gespannten Stahlseilen)
- Automatische Alarmierung beim Überschreiten vordefinierter Schwellenwerte, z.B. Strassenschliessung und Benachrichtigung
- **Permanente Messung** des Abflusses und Zugang zu Zeitreihen und aktuellen Daten sowie Bildern jederzeit über das **Online Datenportal** möglich.

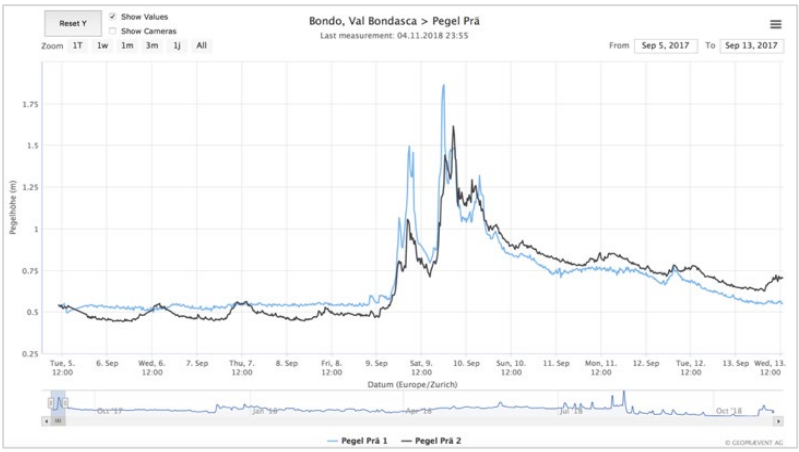
Limitationen

- Nur **Ereignisse im Zielgebiet** des Radars werden erfasst. Zur Abdeckung eines breiten Flussbettes und/oder aus Redundanzgründen empfehlen wir die Installation von zwei Pegelradaren
- Ausfall des Radars bei **Zerstörung oder Verstellung** durch Treffer von Steinen oder Geschiebe im Bach / Murgang.

Beispiele

Val Bondasca (Bondo), Schweiz
Umfassendes Murgang-Alarmsystem mit insgesamt vier Pegelradaren und unterschiedlichen Vorwarnzeiten zur automatischen Schliessung der Hauptstrasse im Tal.

Spreitgraben, Schweiz
Umfangreiches Murgang-Alarmsystem zum Schutz der Grimselpassstrasse mit automatischer Strassensperrung.

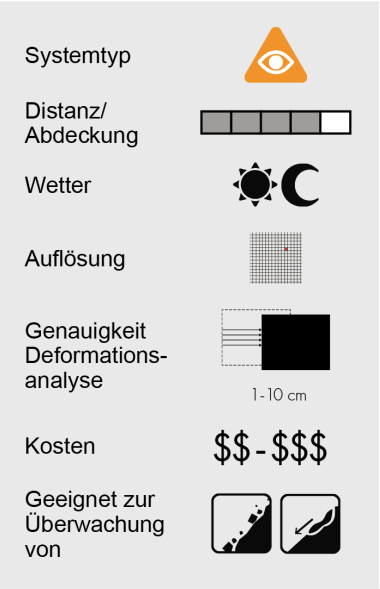


4.3 Terrestrischer Laserscanner (Lidar)

Lidar (Light detection and ranging) ist eine optische Methode zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung basierend auf Laserstrahlen. Im Gegensatz zu Radar benutzt Lidar elektromagnetische Wellen im optischen Frequenzbereich und somit kürzere Wellenlängen. Lidar eignet sich sehr gut zur präzisen, hochaufgelösten Vermessung grosser Flächen durch dreidimensionales Abtasten der Oberfläche. Zudem kann Lidar zur Deformationsanalyse und Volumenabschätzung eingesetzt werden.

Vorteile

- **Grossflächige Vermessung** von Felswänden und Gletschern mit mm-Genauigkeit und **hoher räumlicher Auflösung** (min. 0,5 x 0,5 m, abhängig von Messdistanz)
- Datengrundlage zur Erstellung **digitaler Höhenmodelle**
- **Volumenabschätzung** von Fels- und Gletscherabbrüchen
- Funktioniert bei **Tag / Nacht**, aber nur bei gutem Wetter (Sichtverbindung erforderlich)
- Reichweite bis zu **4 km**, Fläche von mehreren **km²**
- Deformationsanalyse zum Erkennen «grosser» Bewegungen zwischen zwei Messungen (Verschiebung von 1–10 cm und mehr)
- **Vegetation** kann teilweise gefiltert werden
- **Periodische Messungen** häufig zusammen mit interferometrischen Radarmessungen, schnelle Installation
- Messbericht mit Datenanalyse und -interpretation

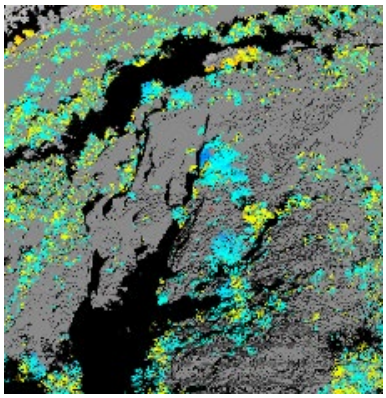


Limitationen

- Mit Lidar lassen sich nur «grosse» Verschiebungen von 1–10 cm und mehr ermitteln, wobei dies Genauigkeit von der Messdistanz abhängt (Details im Vergleich auf Seite 27)
- Wetterabhängig (Messungen bei Nebel, Wolken, Regen oder Schneefall teilweise nicht möglich)
- Die Ergebnisse hängen von Algorithmen ab, die für den Vergleich von Punktwolken verwendet werden.

Beispiel

SBB in Biasca, Schweiz
Periodische Messungen einer Felswand zur Erkennung grosser Verschiebungen und zur Volumenabschätzung von Ausbrüchen.

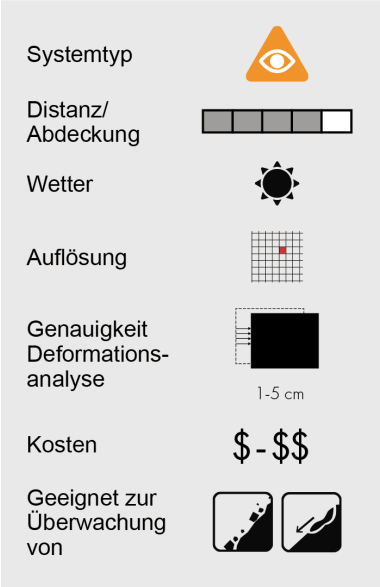


4.4 Deformationskamera

Die Deformationskamera ist eine kosteneffiziente, flächendeckende Lösung zur Langzeitüberwachung von Instabilitäten in Fels und Eis. Mithilfe der vollautomatisierten Deformationsanalyse lassen sich Verschiebungen von wenigen Zentimetern einfach und rasch feststellen.

Vorteile

- **Kosteneffiziente Überwachungslösung** zur Erkennung von Bewegungsänderungen eines Gebietes (z.B. Beschleunigung)
- **Automatisierte Bildverarbeitung**, -analyse und -auswahl dank ausgeklügelten Algorithmen
- **Farbliche Darstellung** der Bewegungen inklusive Richtung
- Praktische Bildanzeige mit **Zoom-Option** zur Detailansicht
- **Flexibel wählbares Analyseintervall (täglich, zweitäglich, wöchentlich, saisonal)**
- Sämtliche Deformationsanalysen und hochaufgelöste Bilder über das **Geopraevent Online Datenportal** jederzeit verfügbar
- **Hochauflösende Fotos** für den manuellen Vergleich der Veränderungen



Limitationen

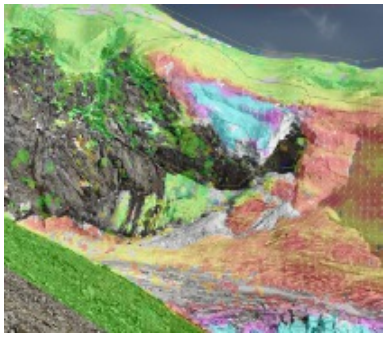
- Nur bei guten Sichtverhältnissen, d.h. bei Tag und gutem Wetter. Für akute Instabilitäten nicht geeignet
- Kontrast: Für eine erfolgreiche Bildanalyse werden kontrastreiche Bilder benötigt. Bei anspruchsvollen Anwendungen kann zusätzlich eine HDR-Prozessierung durchgeführt werden, die den Kontrast und damit die Analysenqualität verbessert
- Es sind nur die beiden Deformationskomponenten senkrecht zur Blickrichtung messbar
- Schneebedeckung

Beispiele

Weissmies-Gletscherabbruch, Schweiz
Deformationskamera erkannte die Beschleunigung des instabilen Gletscherbereiches korrekt. Nachfolgend Einsatz des Georadars zur Überwachung der akuten Gefahr.

Rutschung Moosfluh, Schweiz
Überwachung grosses Rutschgebiet am Aletschgletscher von gegenüberliegender Hangseite.

Bisgletscher, Schweiz
Überwachung des steilen unteren Gletscherteils mit drei Kameras und zusätzlicher Eislawinen-Detektion mit Lawinenradar inklusive Alarmierung. Überwachung Hängegletscher weiter oben am Weisshorn auf 4133 m.



4.5 Kluftmessgeräte

Zur lokalen Überwachung einer Felskluft in einer instabilen Felsmasse werden zwei Arten von Kluftmessgeräten eingesetzt: Telejointmeter zur Bestimmung von Kulftweiten und Extensometer in Bohrlöchern integriert für tiefergelegene Felsbewegungen. Beides sind punktuelle Messungen und erfordern eine Installation im Gefahrengebiet.

Vorteile

- **Telejointmeter:** Messung der **differentiellen Bewegungen an der Oberfläche** zwischen zwei Felskörpern mit einer Messgenauigkeit von 0,2–1 mm, je nach Montageort, Kluftweite und Sonneneinstrahlung (Tagesgang)
- **Extensometer** messen **differentielle Bewegungen** zwischen der Felsoberfläche und dem Felskörper auf verschiedenen **Tiefen in einem Bohrloch** mit einer Messgenauigkeit von ca. 0,1 mm
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit
- Automatische Alarmierung beim Überschreitung von **absoluten oder relativen Grenzwerten**
- Permanente Messung, Datenübertragung per Funk oder Kabel und Zugang zu Messdaten über das **Geopraevent Online Datenportal**

Zur flächigen Überwachung einer Felswand empfehlen wir den Einsatz des interferometrischen Georadars, Telejointmeter dagegen zur lokalen Beobachtung kritischer Stellen.

Systemtyp	
Distanz/ Abdeckung	
Wetter	
Genauigkeit Deformation-messung	>10 cm
Kosten	$$ - $$$
Geeignet zur Überwachung von	

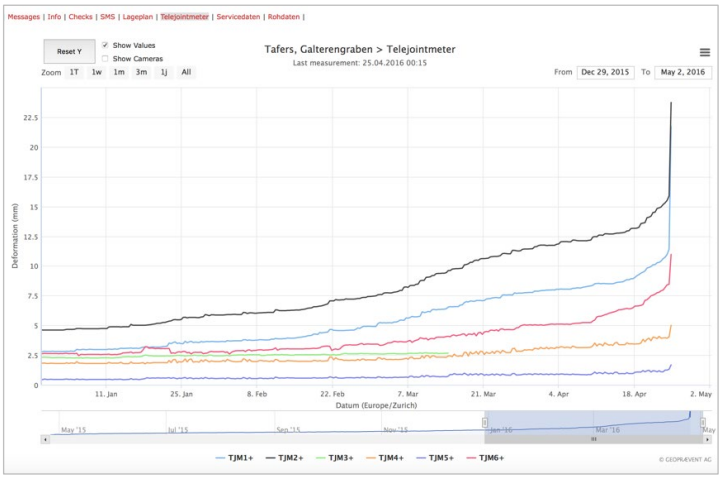
Limitationen

- Messdaten geben nur Auskunft über Felsbewegungen in unmittelbarer Nähe der Telejointmeter und nur in Montagerichtung
- Möglicherweise gefährliche Installationsarbeiten
- Messgeräte können bei einem Abbruch beschädigt werden und sind dann unbrauchbar um die Gefahr verbliebener instabiler Bereiche abzuschätzen
- Messgeräte selbst sind steinschlaggefährdet und benötigen entsprechenden Schutz

Beispiele

Felssturz Tafers, Schweiz
Überwachung einer Felsinstabilität über einem Wohnhaus in einem Naherholungsgebiet. Messdispositiv mit automatischer Warnung half zur rechtzeitigen Evakuierung.

Felssturz Gurtnellen 2012, Schweiz
Umfassende Überwachung während den Sicherungsarbeiten für die Nord-Süd-Achse der SBB.

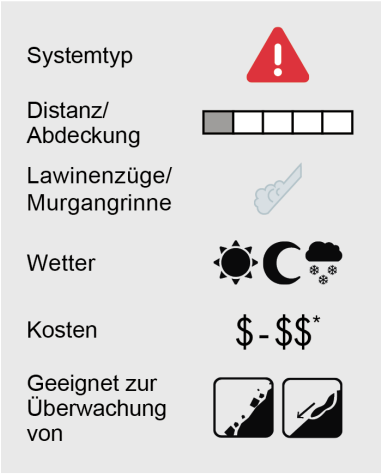


4.6 Geophone und seismische Sensoren

Geophone und seismische Sensoren messen die Erschütterungen im Boden und erkennen anhand dieser eine Massenbewegung. Seismische Sensoren sind dabei um ein Vielfaches sensitiver als Geophone. Erschütterungssensoren werden lokal installiert, wobei für eine zuverlässige Detektion mehrere Sensoren notwendig sind (Redundanz). Eine Alarmierung mit automatischen Aktionen wie z.B. Strassensperrung oder Benachrichtigung, ist ebenfalls möglich.

Vorteile

- **Lokale, relativ einfache Detektionsmethode** für Lawinen oder Murgänge
- **Robuste** Sensoren, für Extremverhältnisse geeignet
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht)
- **Automatisches Auslösen von Alarm** in Echtzeit
- **Seismische Sensoren** sind sensitiver als Geophone und können zudem zur Überwachung der **Steinschlagaktivität** eingesetzt werden (Reichweite bis zu mehreren km)
- Zugang zu Erschütterungsdaten und Kamerabildern sowie
- Bedienung von Schranken / Signalen über das **Geopraevent online Datenportal**
- Integration mit **Smartphone** und **Tablet**



* je nach Anzahl Sensoren

Limitationen

- Sensor oder Kabel kann durch eine Lawine / einen Murgang zerstört oder beschädigt werden
- Die Lawine oder der Murgang verursachen nicht die erforderliche Minimalerschütterung (z.B. weil frühere Lawinenablagerungen das Signal dämpfen)
- Fehlalarme möglich durch andere Erschütterungsquellen, z.B. Erdbeben, Gewitter (Donner), Tiere oder Personen

Geophon

Beispiele

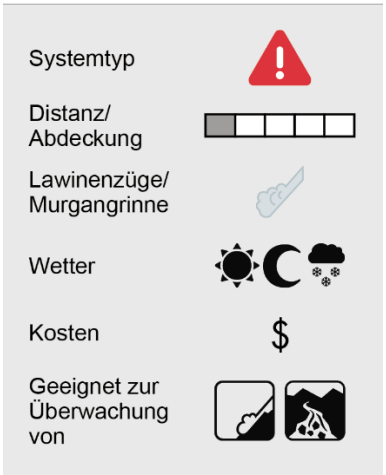
Bondo, Schweiz
Drei seismischen Sensoren dienen als Redundanz zu den Pegelradaren für die Murgang-Detektion im Val Bondasca. Zusätzlich zeigen die Sensoren die Steinschlagaktivität am weiter oben gelegenen Pizzo Cengalo an.

Quinto, Schweiz
Geophon als Erweiterung des Lawinenradar-Systems: Geophone geben Hinweise darüber, wie weit die Lawine vorgestossen ist, da der untere Teil des Lawinenhanges mit dem Radar nicht einsehbar ist.

Seismischer Sensor

4.7 Reissleine

Eine Reissleine wird über einen Lawinen- oder Murganggraben gespannt und bei einem Abgang zerrissen. Am einen Ende der Reissleine befindet sich ein Schalter mit einer Sollbruchstelle, die ab einer bestimmten Zugkraft bricht und Alarm auslöst. Reissleinen werden einmalig eingesetzt und müssen nach einem Ereignis ersetzt werden.



Vorteile

- **Wirtschaftliche, einfache Detektionsmethode** für Lawinen oder Murgänge (sowie weitere Anwendungen).
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht).
- **Automatisches Auslösen von Alarm** in Echtzeit (z.B. Schliessen von Strassen mit Lichtsignalen und Schranken).
- **Verschiedene Ausführungen** verfügbar (Drahtseile, Metallstangen, etc.)

Limitationen

- Einmalige Verwendung; nach einem Ereignis muss die Reissleine ersetzt werden
- Keine Detektion weil ...
  - das Ereignis die Reissleine nicht zerstört (z.B. Verankerung wird herausgerissen, die Reissleine bleibt intakt)
  - das Ereignis die Reissleine ausserhalb der Sollbruchstelle zerstört
  - das Ereignis die Reissleine verfehlt
- Fehlalarm bei Ausziehen der Reissleine durch Tiere oder Personen
- Je nach Art der verwendeten Reissleine: Zustand der Reissleine nicht über Fernwartung überprüfbar. Regelmässige Kontrollgänge notwendig
- Überwachte Reissleinen (mit permanenter Kraftmessung) empfohlen

Beispiele

Bondo, Schweiz
Das 2015 installierte Murgang-Alarmsystem im Val Bondasca löste beim Bergsturz 2017 mit nachfolgendem Murgang korrekt Alarm aus und schloss mehrere Strassen im Dorf Bondo.

Spreitgraben, Schweiz
Umfangreiches Murgang-Alarmsystem zum Schutze der Grimselpass-strasse mit automatischer Strassensperrung. Alarmierung. Überwachung Hängegletscher weiter oben am Weisshorn auf 4133 m.

4.8 GNSS (GPS)

Die Bewegungen eines instabilen Gebietes werden mit mehreren differenziellen GNSS-Geräten punktuell gemessen. Eines der Geräte steht in einem (relativ) stabilen Gebiet und dient als Referenzstation. Das GNSS-Gerät wertet die von Satelliten gesendeten Positions- und Zeitdaten aus und übermittelt sie zur Berechnung der Verschiebung an unsere Server.

Vorteile

- Einfache Rutschungsüberwachung **mit einer Messgenauigkeit von 5–10 mm.**
- **Berechnung der Verschiebung in allen drei Dimensionen**
- **möglich** (in vertikaler Richtung meist etwas schlechtere
- Genauigkeit).
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht)
- **Warn-SMS beim Überschreiten bestimmter Schwellwerte**
- Zeitreihen der Geschwindigkeiten einzelner GNSS-Geräte über das **Online Datenportal** jederzeit abrufbar
- Integration mit **Smartphone** und **Tablet**

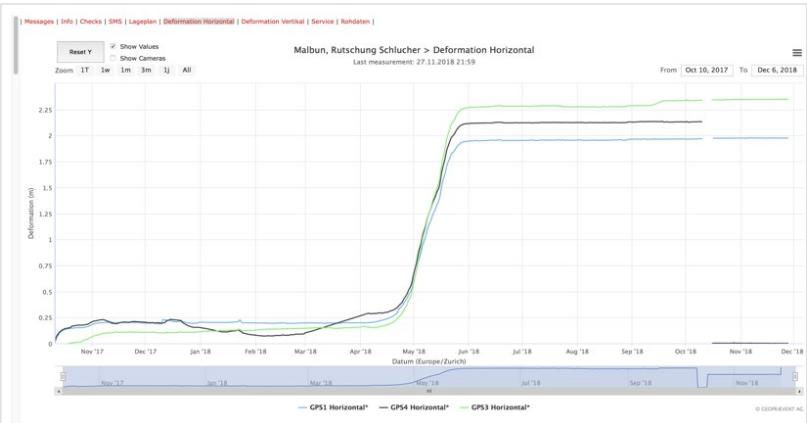
Systemtyp	
Distanz/ Abdeckung	
Wetter	
Kosten	$-$$
Geeignet zur Überwachung von	

Limitationen

- Nur Messung der lokalen Verschiebung
- Genauigkeit der Messung hängt von der Anzahl sichtbarer Satelliten ab. Enge Täler, nahe Felswände oder Bäume verdecken Satelliten und reduzieren die Genauigkeit
- Keine Messungen möglich wenn Geräte eingeschneit
- Das Referenzgerät muss auf stabilem Boden stehen

Beispiel

Rutschung Schlucher, Liechtenstein
Überwachung Rutschung Schlucher mit drei GPS-Sensoren.

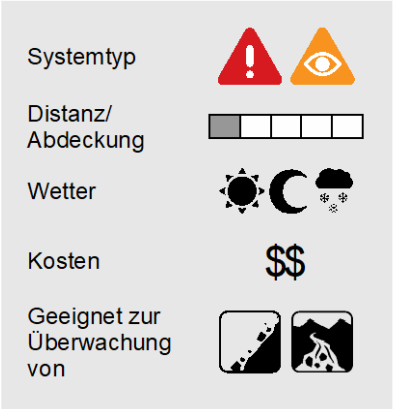


4.9 Kombisensor

Das Überwachen von Schutznetzen spielt eine wichtige Rolle. Netze können bei einem Ereignis beschädigt werden, was die Funktionalität beeinträchtigt – der Schutz bei Folgeereignissen ist somit nicht gewährleistet. Kombisensoren zur Messung von Erschütterung und Neigung werden häufig in Kombination mit Reissleinen am Schutznetz installiert und liefern wertvolle Daten über dessen Zustand.

Vorteile

- **Ständige Zustandsübersicht** der einzelnen Schutznetze über das online Datenportal.
- Kombisensoren **registrieren kleinste Lageänderung** und übermitteln diese an Empfängerstation.
- **Kombination mit Reissleine:** Eine über das Netz gespannte Reissleine vergrössert die zu überwachende Fläche.
- Erschütterungsmessung gibt **Hinweise auf kleinere Ereignisse**, bei denen die Reissleine nicht ausgerissen wurde.
- **Tiefere Kosten** im Unterhalt der Netze (keine Kontrollgänge vor Ort mehr nötig).
- **Automatisches Auslösen von Alarm** in Echtzeit.
- **Unabhängig von Wetter** (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit.
- **Einfache** Installation.
- **Robuste und wartungsfreie** Sensoren.



Limitationen

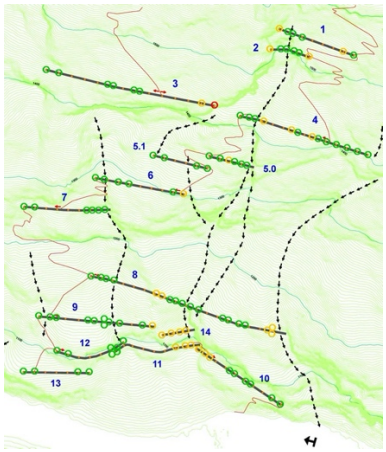
- Reissleine muss nach einem Ereignis instandgesetzt werden
- Fehlalarme durch Schnee oder andere Objekte
- Installation im Gefahrengebiet

Beispiele

Ovella, Schweiz
Über 100 Kombisensoren und Reissleinen überwachen seit Sommer 2015 über 1,2 km Schutznetze oberhalb der Baustelle der Gemeinschaftkraftwerke Inn bei Ovella im Unterengadin.

Gumpischtal, Schweiz
Überwachung der Murgang- und Steinschlagschutznetze oberhalb der Axenstrasse und Teil der Gesamtalarmanlage: Detektion von Steinschlag im oberen Teil der Rinne durch Radar führt zur sofortigen Schliessung der Strasse. Ohne Detektion eines Einschlages in den Schutznetzen wird die Strasse automatisch wiedereröffnet.

SBB Gotthard-Linie, Schweiz
Kombinsensoren überwachen an mehreren kritischen Stellen die Steinschlagnetze zum Schutz der SBB-Geleise.



5 Anhang: Symbole

Warnsystem

Alarmsystem

bei gutem Wetter

in der Nacht

bei Schneefall,
Nebel oder Regen

Lawinen

Felsinstabilität / Steinschlag

Murgang

Rutschung

Hochwasser