Praxishilfe für den Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

WSL

SLF

Herausgeber
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
7260 Davos Dorf
Tel. 081 417 01 11

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
Monbijoustrasse 51
3003 Bern
Tel. 058 462 50 11

Autoren / Projektleitung
Martina Sättele, WSL-SLF
Michael Bründl, WSL-SLF

Begleitkommission
Estelle Grüter, MeteoSchweiz
Lorenz Meier, GEOPRAEVENT AG
Hugo Raetzo, BAFU
Christoph Werner, BABS
Markus Wüthrich, BABS

Beratung
Christoph Graf, WSL
Nils Hählen, Kanton Bern
Ruedi Krähenbühl, BauGrundRisk GmbH
Heinz Müller, Marc Hauser, Charles Schmidt, SBB
Christoph Nänni, Tiefbauamt Graubünden
Urban Rieder, ASTRA
Pascal Stoebener, Kanton Wallis
Jakob Trachsel, Gemeinde Lenk
Giorgio Valenti, Kanton Tessin
Willy Werlen, Lawinenwarndienst Goms
Christian Wilhelm, Kanton Graubünden

Herstellung
Zentrum elektronische Medien ZEM
Stauffacherstrasse 65 / 14, 3003 Bern

Bildnachweis Titelseite
L. Meier / GEOPRAEVENT AG

Kartenausschnitte
Bundesamt für Landestopografie

Zitiervorschlag
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

Mai 2015

5 **Einleitung**
6 **1. Anlass und Ziel der Praxishilfe**
8 **2. Struktur und Abgleichung der Praxishilfe mit anderen Konzepten**

11 **Teil A: Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren**
13 **1. Frühwarnsysteme bauen auf Prozessverständnis auf**
14 **2. Frühwarnsysteme können in verschiedene Typen unterteilt werden**
14 2.1 Der Naturgefahrenprozess besteht aus verschiedenen Phasen
14 2.2 Überwachungsmöglichkeiten eines Naturgefahrenprozesses
16 2.3 Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen lassen sich typisieren
18 **3. Einheiten eines Frühwarnsystems**
18 3.1 Haupteinheit: Erfassung
18 3.2 Haupteinheit: Interpretation
19 3.3 Haupteinheit: Ausgabe
19 3.4 Stromversorgung
20 3.5 Kontrolleinrichtung
20 3.6 Betriebskonzept
21 **4. Schwachstellen bestimmen die Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen**
21 4.1 Zuverlässigkeit Erfassung – Datenqualität
21 4.2 Zuverlässigkeit Interpretation – Schwellenwert und Mensch
22 4.3 Zuverlässigkeit Ausgabe – Befolgung der Interventionsmassnahme
23 4.4 Zuverlässigkeit der Komponenten und Systemaufbau – Versagenswahrscheinlichkeit

25 **Teil B: Entscheidungshilfen für den Praxiseinsatz**
27 **1. Ist ein Alarm-, Warn- oder Kombisystem eine zweckmässige Massnahme?**
27 1.1 Entscheidungsdiagramm für die Wahl des Frühwarnsystem-Typs
29 **2. Ist das angebotene Frühwarnsystem zuverlässig?**
29 2.1 Checkliste I: Bewertung Zuverlässigkeit des Frühwarnsystems
30 2.2 Checkliste II: Bewertung der Zuverlässigkeit des Systemanbieters / -betreibers

31 **Teil C: Systembeispiele aus der Praxis**
33 **1. Flutwelle: Warnsystem Plaine Morte (BE)**
38 **2. Murgang: Kombisystem Illgraben (VS)**
42 **3. Schneelawine: Alarmsystem Hägrigen (UR)**
45 **4. Stein- und Blockschlag: Alarmsystem Kaschirand (SZ)**
48 **5. Felssturz: Warnsystem Preonzo (TI)**
52 **6. Rutschung: Warnsystem Grindelwaldgletscher (BE)**

57 **Glossar und Referenzen**

Einleitung

1. Anlass und Ziel der Praxishilfe

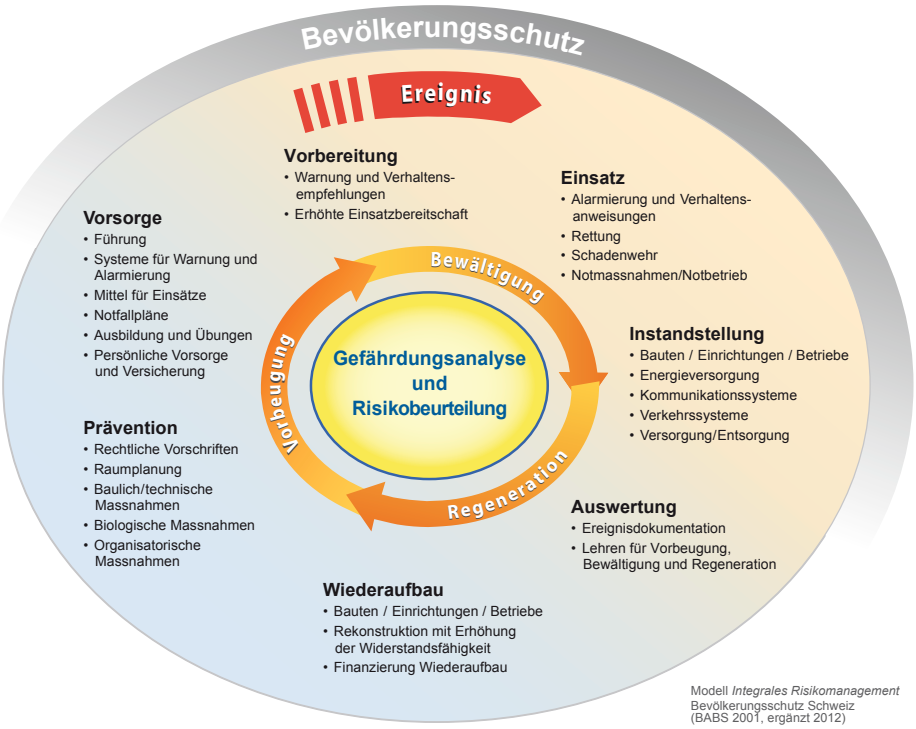


Abbildung 1: Kreislauf integrales Risikomanagement.

In den letzten Jahrzehnten hat eine starke technische Entwicklung von Frühwarnsystemen (FWS) stattgefunden; sie spielen heute eine bedeutende Rolle im Naturgefahrenmanagement. FWS sind als Prototypen oder als ausgereifte Spezialentwicklungen zur Warnung und Alarmierung von verschiedensten Naturgefahren im Einsatz.

Im Kreislauf des integralen Risikomanagements (Abb. 1) gehören sie in den Bereich der Vorsorge, da sie verhindern, dass Personen und mobile Objekte einem gefährlichen Ereignis ausgesetzt sind. Auf internationaler Ebene bezeichnet man als Frühwarnung «Einrichtungen, die dazu dienen, zeitnahe und aussagekräftige Informationen zu generieren und auszugeben, damit gefährdete Personen, Gemeinden oder Organisationen sich vorbereiten und zeitnah Massnahmen zur Schadensreduzierung einleiten können» [1].

In dieser Praxishilfe werden ausschliesslich gebietsspezifische FWS betrachtet, welche für die lokale Warnung oder Alarmierung vor gravitativen Naturgefahren eingesetzt werden: Flutwelle, Schneelawine, Murgang, Steinschlag, Fels-, Berg-, Eissturz und Rutschung.

Die Entwicklung, die Installation und der Unterhalt dieser Systeme werden von spezialisierten Firmen und vereinzelt auch von Forschungsinstitutionen angeboten. Der Entscheid über die Anschaffung eines FWS, die Koordination der Beschaffung und der anschliessende Betrieb bleiben den zuständigen Stellen in den Gemeinden und Kantonen überlassen. Diese können und sollen Unterstützung durch Experten in Anspruch nehmen. Es ist die Aufgabe der Fachspezialisten in den Kantonen, in Zusammenarbeit mit Geologen oder anderen Naturgefahrenexperten mit Ansprechpartnern in Ingenieurbüros sowie mit Systemanbietern und -betreibern ein zuverlässiges FWS zu entwickeln.

Das Projekt «ReWarn – Reliability Warning and Alarms» ist 2011 mit dem Ziel gestartet, eine

Methode zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von FWS zu entwickeln. Diese Methode soll es ermöglichen, die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von konkurrierenden FWS zu beurteilen und mit alternativen Massnahmen, wie z. B. baulichen Massnahmen, zu vergleichen. Die Ergebnisse aus dem Projekt ReWarn sind wissenschaftlich in einer Dissertation [2] und in der vorliegenden Praxishilfe dokumentiert.

Zweck der Praxishilfe ist es, Naturgefahrenexperten die Erkenntnisse aus der Dissertation in einer zusammenfassenden Form zur Verfügung zu stellen und sie auf diese Weise bei der Implementierung und beim Betrieb von zuverlässigen und kosteneffizienten FWS zu unterstützen. Die Zielgruppe sind Fachspezialisten für Naturgefahren der Kantone (oft in vertretender Funktion für Entscheidungsträger in den Gemeinden und Kantonen), Ingenieurbüros oder zuständige Personen in Privatunternehmen.

2. Struktur und Abgleichung der Praxishilfe mit anderen Konzepten

Die Praxishilfe wurde mit der Vollzugshilfe Massenbewegungen des BAFU [3] hinsichtlich Begriffen und Inhalt abgestimmt. In der Vollzugshilfe werden Schritte zur Planung von Massnahmen zum Schutz vor gravitativen Massenbewegungen systematisch zusammengefasst. Die vorliegende Praxishilfe unterstützt Experten bei den Schritten der Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung und ist von Nutzen, wenn ein FWS eine potenzielle Schutzmassnahme darstellt (Abb. 2).

Teil A
Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren

Dieser Teil liefert das notwendige Grundverständnis über gravitative Naturgefahrenprozesse und zeigt Möglichkeiten zur Früherkennung auf. Um den Aufbau und die Komponenten eines FWS systematisch beschreiben und die Zuverlässigkeit diskutieren zu können, werden FWS in verschiedene Typen unterteilt.

Teil B
Entscheidungshilfen für die Praxis

Dieser Teil enthält Diagramme und Checklisten für die praktische Umsetzung des erworbenen Wissens. Ein Entscheidungsdiagramm unterstützt die Verantwortlichen bei der Beschlussfassung, welcher Typ FWS zweckmässig ist. Die Checklisten fassen relevante Fragen zusammen und erlauben es so, die Zuverlässigkeit eines angebotenen FWS und die Zuverlässigkeit des Systemanbieters und -betreibers qualitativ bewerten zu können. Mit Hilfe dieser Checklisten können FWS verglichen und das beste Angebot ausgewählt werden.

Teil C
Systembeispiele aus der Praxis

Dieser Teil beinhaltet Beispiele von bewährten FWS, welche aktuell zur gebietsspezifischen Früherkennung von gravitativen Naturgefahrenprozessen im Einsatz sind.

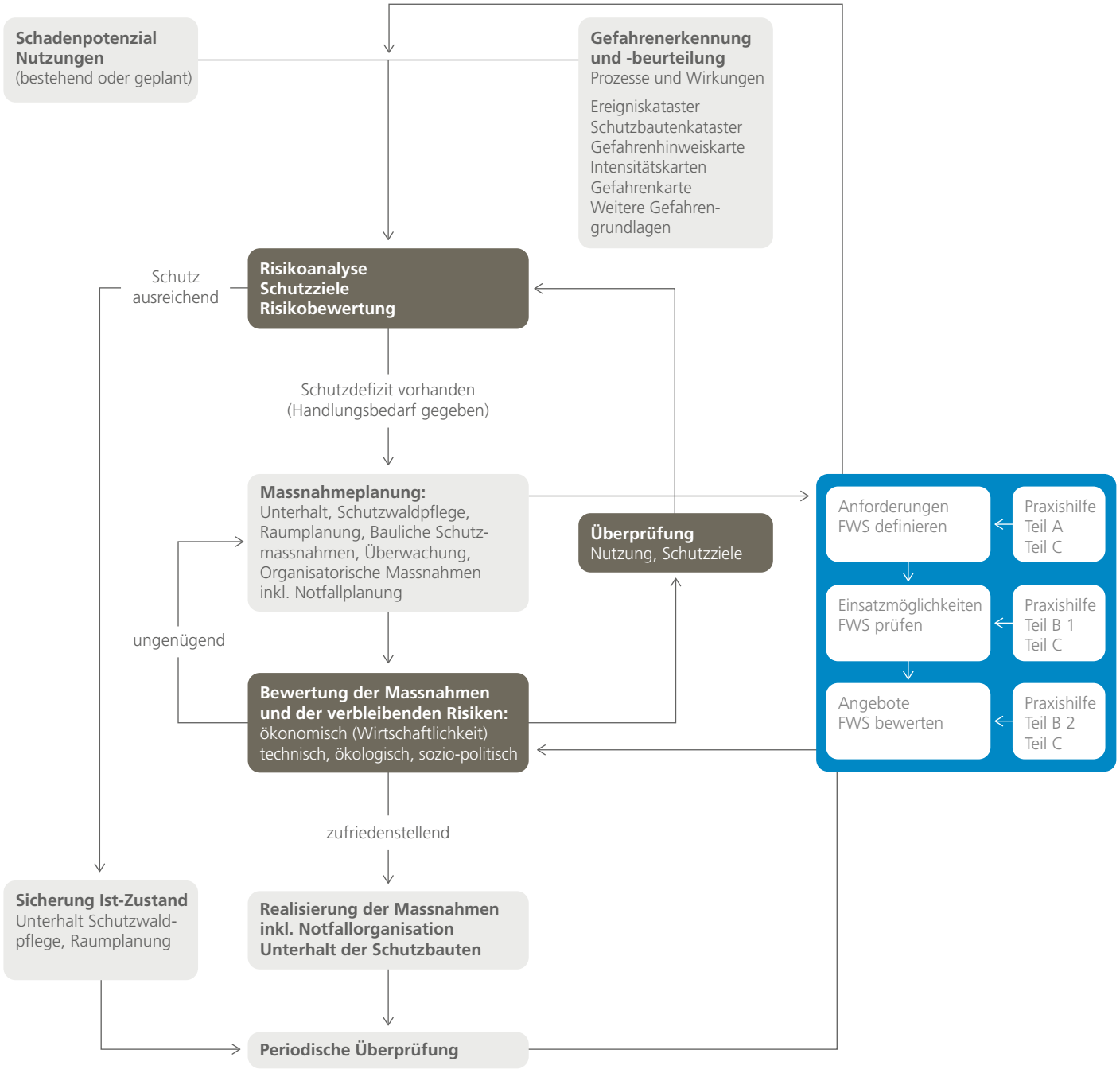


Abbildung 2: Vereinfacht dargestelltes Vorgehen bei der Planung von Massnahmen (Vollzugshilfe Massenbewegungen BAFU [3]) und der Beitrag der Praxishilfe.

Teil A:
Einsatz von Frühwarnsystemen für gravitative Naturgefahren

Dieser erste Teil vermittelt Grundlagenwissen zu gravitativen Naturgefahrenprozessen und FWS. Dazu werden FWS typisiert und Möglichkeiten und Grenzen bei ihrem Einsatz als Schutzmassnahmen aufgezeigt. Ausserdem wird der Begriff Zuverlässigkeit definiert und es werden Faktoren aufgezeigt, welche die Zuverlässigkeit von FWS massgeblich bestimmen.

1. Frühwarnsysteme bauen auf Prozessverständnis auf

In der Vollzugshilfe Massenbewegungen[3] werden Überwachungssysteme in vier aufeinander aufbauenden Stufen unterschieden. FWS entsprechen den Stufen 3 und 4 (Abb. 3) und sind somit Teil eines Sicherheitskonzeptes, da sie in der Lage sind, aussergewöhnliche Situationen zu erkennen und Warn- oder Alarminformationen aktiv auszugeben, bevor Schaden entsteht. Um ein zuverlässiges FWS zu betreiben, ist es unbedingt notwendig den Naturgefahrenprozess vollumfänglich zu verstehen. Oft tragen Überwachungssysteme der Stufe 1 und 2 dazu bei, den Naturgefahrenprozess zu analysieren und dessen Entwicklung zu verfolgen. Sie werden auch eingesetzt, um zu entscheiden, ob ein FWS installiert werden soll.

Abbildung 3: Allgemein können Überwachungssysteme in vier aufeinander aufbauenden Stufen beschrieben werden. Stufen 1 und 2 sind wichtige Voraussetzungen für ein FWS; das eigentliche FWS umfasst die Stufen 3 und 4.

2. Frühwarnsysteme können in verschiedene Typen unterteilt werden

Je nach Naturgefahrenprozess sowie gebietsspezifischen und systemseitigen Anforderungen unterscheiden sich FWS in ihrer räumlichen und zeitlichen Dimension und beinhalten unterschiedlichste Ressourcen. Ein System, das spontane Murgänge detektieren soll, um einen gefährdeten Strassenabschnitt rechtzeitig zu sperren, besteht aus anderen Komponenten als ein FWS, welches die Beschleunigung einer langsamen Rutschung erkennen soll, um eine nahegelegene Gemeinde frühzeitig zu evakuieren. Andere FWS für Schneelawinen decken grössere geographische Gebiete ab, indem sie die Daten mehrerer automatischer Messstationen zur Interpretation verwenden. Ausschlaggebend für den Aufbau eines FWS und die damit verbundenen Wahl des FWS-Typen sind unterschiedliche Überwachungsmöglichkeiten und die verfügbare Zeit bis zur Intervention.

2.1 Der Naturgefahrenprozess besteht aus verschiedenen Phasen

Ein Naturgefahrenprozess lässt sich in mehrere Phasen unterteilen. In der frühen Phase besteht eine latente «Gefahr». Diese Phase beschreibt den Zustand, in welchem eine Naturgefahr erkannt wird und eine potenzielle Gefährdung darstellt. Die zweite Phase startet, sobald sich aus dieser latenten Gefahr eine konkrete Bedrohung entwickelt und beschreibt folglich die Phase in welcher das «Ereignis» eintritt und stattfindet. Die dritte und letzte Phase, findet nur statt wenn Personen oder Infrastrukturen beeinträchtigt werden und beschreibt somit den Zustand, wenn «Schaden» entsteht. Die nachfolgende Abbildung beschreibt die möglichen Phasen eines Felssturzes (Abb. 4).

2.2 Überwachungsmöglichkeiten eines Naturgefahrenprozesses

Ein Naturgefahrenprozess bietet verschiedene Parameter, die überwacht werden können bevor Schaden verursacht wird. In der ersten Phase eines Naturgefahrenprozesses, in welcher eine latente Gefahr besteht, können häufig gezielt Veränderungen in der Disposition, aber auch auslösende Ereignisse beobachtet werden. Beide Parameter führen nicht zwingend zum Eintritt eines Ereignisses. Ist das Ereignis dann eingetreten, können typische Prozessparameter zur Detektion herangezogen werden (Abb. 5).

In der Praxis stehen die nachfolgenden Möglichkeiten zur Früherkennung von verschiedenen gravitativen Naturgefahrenprozessen zur Verfügung (Tab. 1).

Gefahr →

Eine Felsinstabilität gefährdet einen Strassenabschnitt.

Ereignis →

Der Fels löst sich und stürzt auf die Strasse.

Schaden →

Der Fels beschädigt die Strasse.

Abbildung 4: Phasen eines Naturgefahrenprozesses.
Fotos: (links) M. Sättele / SLF; (Mitte) B. Petroni / Berner Oberländer; (rechts) W. Gerber / WSL

Naturgefahrenprozess	auslösende Ereignisse	variable Disposition	Prozessparameter
Flutwelle	Niederschlag, Schneeschmelze, Prozesse im Gletscher, die einen See ausfliesen lassen	Pegelstand, Speicherstand / Wasservolumen, Geschiebe	Geschwindigkeit, Druck, Fliesshöhe
Schneelawine	Niederschlag, Schneeverfrachtung durch Wind, Zusatzlast, Temperatur und Strahlung	Stabilität Schneedecke	Geschwindigkeit, Druck / Kraft, Fliesshöhe, Erschütterung
Murgang	Niederschlag, Schneeschmelze, Rutschung, Sturzprozess oder rasch vorstossende Blockgletscher	Verfügbarkeit Material, Verklausung, Schmelzen von Permafrost, Porenwasserdruck, Trübung	Fliesshöhe, Erschütterung, Druck / Kraft
Stein- / Blockschlag	Niederschlag, Schneeschmelze, Erdbeben, Wurzeldruck, Windlast auf Bäume	Porenwasserdruck, Schmelzen von Permafrost, Temperatur, Verwitterung, Vegetation	Erschütterung, Druck / Kraft, Energie, Distanz
Fels- / Bergsturz	Niederschlag, Schneeschmelze, Erdbeben	Siehe Stein- / Blockschlag, Kluftöffnung, Veränderungen in der Geometrie	Geschwindigkeit, Erschütterung, Distanz
Eissturz	Gletscherbewegungen, Erwärmung, Erdbeben	Spalten	Geschwindigkeit
Rutschung	Niederschlag, Schneeschmelze, Erdbeben	Porenwasserdruck, Schmelzen von Permafrost	Geschwindigkeit

Tabelle 1: Exemplarische Auswahl von Überwachungsmöglichkeiten zur Früherkennung von gravitativen Naturgefahrenprozessen.

Es werden zwei verschiedene Arten des Eintritts von Naturgefahrenprozessen unterschieden (Abb. 6). Der Informationswert der Überwachungsparameter ist direkt davon abhängig.

1. Bei sich langsam aufbauenden / sich kontinuierlich entwickelnden Naturgefahrenprozessen besitzen Veränderungen in der variablen Disposition lange vor dem Schadensereignis einen hohen Informationswert, da sie direkt mit dem Ereignis in Verbindung stehen. Bei einem Bergsturz findet z. B. über Jahre oder Jahrzehnte vor dem Ereignis eine Kluftöffnung statt, welche sich vor dem Ereignis (z. B. exponentiell) beschleunigt.

2. Bei sich schnell aufbauenden / sich spontan entwickelnden Naturgefahrenprozessen sind Veränderungen in der Disposition oft schwierig zu interpretieren. Bei Murgängen muss z. B. eine erhöhte Verfügbarkeit von losem Material nicht zwingend zu einem Ereignis führen, in Kombination mit ausgiebigem Niederschlag und Schneeschmelze kann es aber ausgelöst werden. Bei spontanen Prozessen haben die Prozessparameter einen ausreichend hohen Informationswert und werden zur Alarmierung herangezogen.

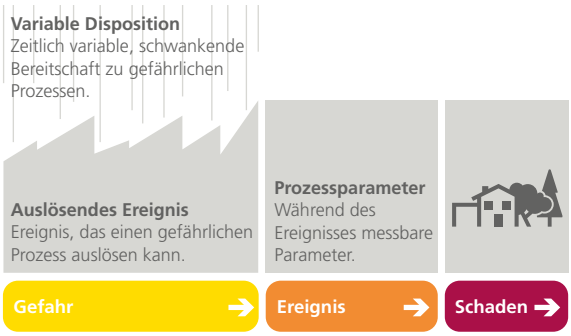


Abbildung 5: Ein Naturgefahrenprozess bietet unterschiedliche Überwachungsmöglichkeiten (angelehnt an [4]).

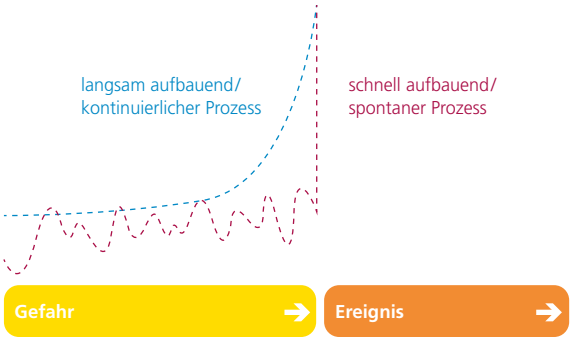


Abbildung 6: Die Eintrittsart eines Naturgefahrenprozesses beeinflusst die Auswahl der Überwachungsparameter, da sich deren Informationswert auf der Zeitachse verändert.

2.3 Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen lassen sich typisieren

Vom Naturgefahrenprozess an sich und der damit verbundenen Eintrittsart ist es abhängig, zu welchem Zeitpunkt ein Ereignis zuverlässig detektiert werden kann. Grundsätzlich sind der Informationswert der überwachten Parameter und die Länge der Interventionszeit gegeneinander abzuwägen. In Anbetracht dieser Faktoren können folgende Systemtypen unterschieden werden.

1. Alarmsysteme
Einrichtungen, die gefährliche Naturereignisse detektieren, um umgehend automatisierte Interventionsmassnahmen einzuleiten. Zum Zeitpunkt der Detektion ist die Datengrundlage meist eindeutig und dafür ist die resultierende Interventionszeit minimal. Die Alarmierung basiert auf einem oder mehreren Schwellenwerten, die meist für Prozessparameter zur Detektion von spontanen Ereignissen festgelegt sind.

2. Warnsysteme
Einrichtungen, die eine automatisierte Warnung abgeben, wenn ein erhöhtes Gefahrenpotenzial besteht, damit Experten die Situation beurteilen (z. B. Interpretation Daten automatischer Messstationen) und passende Interventionsmassnahmen einleiten können. Zum Zeitpunkt der Warnung ist die Datengrundlage oft weniger eindeutig, dafür ist die Interventionszeit verlängert. Die meisten Warnsysteme beinhalten vordefinierte Schwellenwerte für Veränderungen, so dass sich langsam aufbauende Ereignisse frühzeitig erkannt werden.

3. Kombisysteme
Das Kombisystem erfüllt sowohl die Funktion von Warn- als auch von Alarmsystemen. Diese Systeme geben bei erhöhtem Gefahrenpotential Warnungen an die Experten aus und können im Ereignisfall automatisierte Interventionsmassnahmen einleiten.

Zudem gibt es *Vorhersagesysteme,* die aber meist nicht gebietsspezifisch und deshalb in diesem Zusammenhang nicht relevant sind. Die unterschiedlichen FWS-Typen, welche für gebietsspezifische gravitative Naturgefahren eingesetzt werden, haben bestimmte Merkmale (Tab. 2).

In der Praxis werden Alarmsysteme vor allem bei sich schnell aufbauenden / sich spontan entwickelnden Prozessen eingesetzt. Warnsysteme werden zur Früherkennung von gravitativen Naturgefahrenprozessen, welche sich langsam und kontinuierlich entwickeln, erfolgreich eingesetzt. Kombisysteme werden dann verwendet, wenn ein spontaner Prozess detektiert werden soll, aber die Interventionszeit, die mit einem Alarmsystem erreicht wird, nicht ausreicht, oder wenn ein aussergewöhnlich hohes Risikopotenzial besteht (Tab. 3).

Systemtyp	Prozess	Überwachter Parameter	Datengrundlage	Interventionszeit	Automatisierungs-grad
Alarmsystem	sich schnell aufbauend	Prozessparameter	eindeutig	kurz (Sekunden bis Minuten)	vollautomatisierte Alarmierung
Warnsystem	sich langsam aufbauend	variable Disposition, auslösende Ereig-nisse	beschränkt	mittel (Stunden bis Wochen)	automatische Warnung mit orga-nisierter Intervention
Kombisystem	sich schnell / langsam aufbauend	Prozessparameter, variable Disposition, auslösende Ereig-nisse	beschränkt bis eindeutig	kurz bis mittel	vollautomatisierte Alarmierung, automatische War-nung mit organi-sierter Intervention

Tabelle 2: Merkmale von unterschiedlichen gebietsspezifischen FWS-Typen für gravitative Naturgefahren.

	Alarmsystem	Warnsystem	Kombisystem
Flutwelle	X	X	X
Schneelawine	X	X	X
Murgang	X	X	X
Stein- / Blockschlag	X		
Fels- / Berg- / Eissturz	X	X	X
Rutschung		X	X

Tabelle 3: Übersicht, welche Systemtypen in der Praxis für welche Naturgefahrenprozesse eingesetzt werden.

3. Einheiten eines Frühwarnsystems

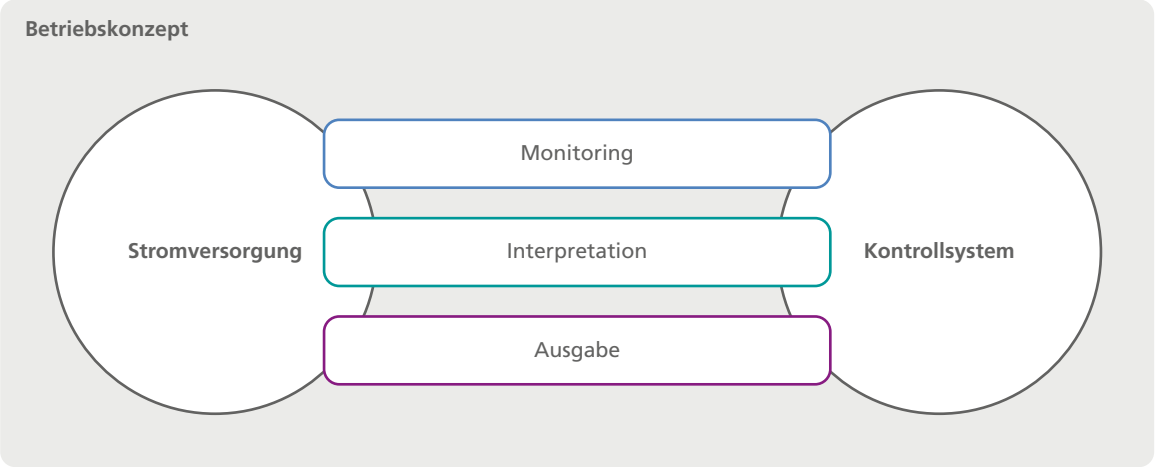


Abbildung 7: Frühwarnsysteme bestehen aus Einheiten.

FWS sind komplexe elektrotechnische Systeme, welche unterschiedlichsten äusseren, technischen und menschlichen Einflüssen unterliegen. Die verschiedenen Systemtypen unterscheiden sich in ihrer Ausführung, alle FWS sind aber systematisch aus drei Haupteinheiten – Erfassung, Interpretation und Ausgabe – aufgebaut, welche eine Stromversorgung benötigen und von einem Kontrollsystem überwacht werden. Ein Betriebskonzept beschreibt die Zuständigkeiten, den Betrieb, den Unterhalt und die Wartung für das gesamte FWS für den Normalbetrieb sowie Zuständigkeiten und Abläufe für den Ereignisfall (Abb. 7).

Jede dieser Einheiten beinhaltet verschiedene Funktionen, die sich je nach Systemtyp mehr oder weniger unterscheiden. In Teil C werden diese Einheiten, Funktionen und Komponenten anhand von Praxisbeispielen im Detail beschrieben.

3.1 Haupteinheit: Erfassung

Die Einheit der Erfassung dient dazu, Daten im gefährdeten Gebiet und in der Umgebung zu erheben. Sie besteht bei Warn-, Alarm- und Kombisystemen aus identischen Funktionen:

Lokale Datenerfassung: Sensoren erfassen Veränderungen in der Umgebung und wandeln physikalische Parameter in digitale / analoge Signale um.

Lokale Kommunikation: Wenn in abgelegenen Gebieten lange Distanzen zu überbrücken sind, erfolgt die lokale Kommunikation zwischen Sensoren und der Auswerteeinheit der Dateninterpretation meist über geschützte Kabelverbindungen. In wenigen Fällen wird Funk als Kommunikationsmittel zwischen Sensoren und der Auswerteeinheit im Feld eingesetzt.

3.2 Haupteinheit: Interpretation

Die Funktionen innerhalb der Einheit zur Dateninterpretation ermöglichen den finalen Entscheid über eine Warnung oder Alarmierung. Die folgenden Funktionen kommen unabhängig vom Systemtyp vor:

Datenauswertung: Ein lokaler Datenlogger oder ein lokaler Rechner steuert die Sensoren, speichert und analysiert die Daten im Feld und gibt bei Schwellenwertüberschreitung Warnungen oder Alarmierungen aus. Bei komplexen Auswertungen erfolgen die Datenanalyse und der Entscheid über Warnung oder Alarmierung auf einem Server.

Datenübertragung: Bei langen Distanzen, zwischen der abgelegenen Auswerteeinheit und einem zentralen Server erfolgt die Übertragung per Funk, Mobilfunk, Telefon, Internet, Satellit; selten über Kabel.

Datenverwaltung: Die Sensordaten werden auf einem zentralen Server oder besser auf redundanten Servern gespeichert und weiterverarbeitet. Die Datensicherung / Archivierung erfolgt auf Backupservern.

Alle weiteren Funktionen in der Einheit der Dateninterpretation sind abhängig vom Systemtyp. Es muss zwischen schwellenwertbasierter und menschlicher Interpretation unterschieden werden. Beim *Alarmsystem* ist die Interventionszeit sehr kurz, aber der Informationswert der Daten maximal. Hier erfolgt der Alarmentscheid alleine über vordefinierte Schwellenwerte, die im Datenlogger oder auf dem zentralen Server gespeichert sind. Beim *Warnsystem* ist die Interventionszeit verlängert, dafür ist die Datengrundlage weniger eindeutig. Hier erfolgt nach dem schwellenwertbasierten Entscheid eine menschliche Interpretation der Daten. Dazu werden zusätzliche Funktionen benötigt:

Datenanalyse: Um einen Entscheid zu treffen, werden die Daten in Modellen aufgearbeitet und visualisiert.

Zusatzinformation: Häufig werden zur Entscheidungsfindung zusätzliche Wettermodelle, Abfluss- und Schneeschmelzdiagnosen verwendet und Bilder von Webcams sowie Einschätzungen von Beobachtern hinzugezogen.

Expertenentscheid: Der finale Entscheid über die Interventionsmassnahmen wird durch Experten und Entscheidungsträger getroffen (z. B. Beurteilung Mehrfachabgänge von Schneelawinen).

Beim *Kombisystem* sind sowohl Schwellenwerte zur Alarmierung als auch Schwellenwerte zur Warnung hinterlegt.

3.3 Haupteinheit: Ausgabe

In dieser Einheit wird eine Information an die gefährdeten Personen ausgegeben. Die Ausgabe der Information unterscheidet sich grundlegend für Warn- und *Alarmsysteme.* Ausschlaggebend dafür sind auch hier die unterschiedlich langen Interventionszeiten und der unterschiedliche Informationswert der Sensordaten. Je nach Systemtyp muss zwischen automatisierter und organisierter Intervention unterschieden werden. *Alarmsysteme* besitzen kurze Interventionszeiten; deshalb eignen sich Massnahmen, welche schnell und automatisch eingeleitet werden können:

Automatisierte Intervention: Um die Präsenzwahrscheinlichkeit von gefährdeten Personen und mobilen Objekten umgehend zu verringern, werden optische Signale, akustische Signale, Schranken und im Schienenverkehr Fahrleitungsunterbrüche eingesetzt. Zudem werden die Sicherheitsverantwortlichen per SMS, Anruf oder E-Mail über die Alarmierung informiert.

Warnsysteme besitzen verlängerte Interventionszeiten; deshalb können verschiedenste Massnahmen manuell eingeleitet werden:

Organisierte Intervention: Interventionskräfte (Sperrung / Evakuierung), Sirene, Radio, SMS, TV, E-Mail, Internet etc. können genutzt werden, um die betroffenen Personen zu informieren und zu schützen.

Das Kombisystem kann automatisierte Massnahmen einleiten und beinhaltet auch organisierte Massnahmen zur Intervention.

3.4 Stromversorgung

Die Stromversorgung eines FWS unterscheidet sich je nach Lage der Komponenten:

Autonome Versorgung: In abgelegenen Gebieten werden Komponenten eines FWS mit Batterie und Solarzelle, Brennstoffzelle, Wind oder Wasserkraft versorgt.

Netzstromversorgung: In weniger abgelegenen Gebieten wird auf den Netzstrom zugegriffen und Ausfälle werden mit Notstromaggregaten überbrückt.

3.5 Kontrolleinrichtung

Um Störungen und Ausfälle zu detektieren sind FWS mit Kontrolleinrichtungen ausgestattet.

Kontrollsystem: Eine Kontrollsoftware oder ein Kontrollserver erlaubt es, niedrige Batteriespannung, Ausfälle von Sensoren, Übertragungsmedien oder Alarmmittel zu erkennen. Ausserdem kann die Plausibilität der Daten geprüft und es können unbeabsichtigte Veränderungen der Schwellenwerte festgestellt werden. Ein solches Kontrollsystem wird im Idealfall unabhängig vom FWS betrieben.

3.6 Betriebskonzept

Damit ein FWS rund um die Uhr zuverlässig betrieben werden kann, muss ein Betriebskonzept erstellt werden. Dieses beschreibt Abläufe und Verantwortlichkeiten.

Ablauf- und Wartungsplan: Beinhaltet genaue Abläufe und Verantwortlichkeiten zur Wartung und für den normalen Betrieb des FWS.

Interventionsplan: Beschreibt die Massnahmen und Abläufe, die im Ereignisfall oder bei Überschreitung der Schwellenwerte ergriffen und umgesetzt werden. Zudem sind Kriterien für die Aufhebung der Interventionsmassnahmen festgelegt.

4. Schwachstellen bestimmen die Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen

Ein FWS erfüllt seine Funktion und ist zuverlässig, wenn es gefährliche Ereignisse detektiert, die Informationen zeitnah übermittelt und somit Schaden verhindert werden kann. Die Zuverlässigkeit eines FWS entscheidet direkt darüber, inwieweit die Wahrscheinlichkeit, dass Personen und mobile Objekte einem Ereignis ausgesetzt sind, reduziert wird. Somit entscheidet die Zuverlässigkeit eines FWS über das reduzierte Gesamtrisiko, was der Wirksamkeit entspricht. Diese Wirksamkeit ist, neben den Kosten, die entscheidende Grösse, wenn es darum geht, FWS in Kosten-Nutzen-Analysen mit alternativen Massnahmen vergleichen zu können.

Meist entscheidet das schwächste Glied einer Kette, wo diese bricht. Diese Regel gilt auch für die Zuverlässigkeit eines FWS. Theoretisch kann jedes FWS so entwickelt werden, dass Schwachstellen durch Redundanzen eliminiert werden; dies ist eine reine Kostenfrage. In der Praxis müssen Kosten und Nutzen gegeneinander abgewogen werden, um die Erwartungen an die Zuverlässigkeit zu definieren. Entscheidend ist, dass die verbleibenden Risiken klar aufgezeigt werden und allen Beteiligten bekannt sind. Die Bewertung der Zuverlässigkeit eines FWS kann aus den folgenden Perspektiven betrachtet werden:

1. Erfassung – Datenqualität
2. Interpretation – Schwellenwert und Mensch
3. Ausgabe – Befolgung der Information
4. Komponenten und Systemaufbau – Versagenswahrscheinlichkeit

4.1 Zuverlässigkeit Erfassung – Datenqualität

Der Informationsgehalt der Messdaten bestimmt die Qualität der Datenbasis, welche einen erheblichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit eines FWS besitzt. Die erzielte Datenqualität hängt direkt mit den folgenden Parametern zusammen:

- Fähigkeit der Experten den Prozess und die Überwachungsmöglichkeiten zu verstehen,
- Interpretierbarkeit und Komplexität des zugrundeliegenden Prozesses,
- Messprinzip (Punkt-/Flächenmessung etc.),
- Wahl der Überwachungsparameter,
- Anzahl der Sensoren,
- Position der Sensoren im Feld,
- Messintervalle,
- Genauigkeit/Auflösung, etc.

Eine Fallstudie, in der die Zuverlässigkeit eines Murgang-Alarmsystems im Detail analysiert wurde, hat gezeigt, dass die Position der Sensoren im Feld einen signifikanten Einfluss auf die Zuverlässigkeit hat (Abb. 8). Baugleiche Sensoren können an unterschiedlichen Positionen grosse Abweichungen in der Zuverlässigkeit erzielen [4].

4.2 Zuverlässigkeit Interpretation – Schwellenwert und Mensch

Eine hohe Qualität der Datenbasis ist Grundvoraussetzung für eine zuverlässige Interpretation. Der Entscheid über eine Warnung oder Alarmierung kann alleine auf vordefinierten Schwellenwerten basieren oder durch die Sicherheitsverantwortlichen gefällt werden.

Interpretationsqualität des Warn-/Alarmschwellenwertes

Die Qualität des automatisierten Alarm- oder Warnentscheids hängt direkt vom Schwellenwert ab. Bei Alarmsystemen ist der Schwellenwert das einzige Entscheidungskriterium, bei Warnsystemen ist der Schwellenwert die erste Instanz vor dem Menschen. Aufgrund dieses Schwellenwertes wird entschieden, ob Ereignisse detektiert und falsche Alarme verhindert werden.

Eine Fallstudie hat gezeigt, dass der Schwellenwert einen erheblichen Einfluss auf den Alarmentscheid und die Zuverlässigkeit des Alarmsystems hat [5]. Die Zuverlässigkeit ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit eines detektierten Ereignisses und der Ausgabe eines falschen Alarms. Dies wurde für verschiedene Schwellenwerte berechnet (Abb. 8). Sensor 1 kann mit einem optimal eingestellten Schwellenwert fast 100 Prozent der Ereignisse detektieren, ohne einen Fehlalarm auszugeben. Mit sehr hohen Schwellenwerten ist die Zuverlässigkeit desselben Sensors nahe null, da kaum noch Ereignisse detektiert werden. Sensor 2 ist baugleich, aber am Rand der Gefahrenzone installiert und liefert eine deutlich schlechtere Performance. Der

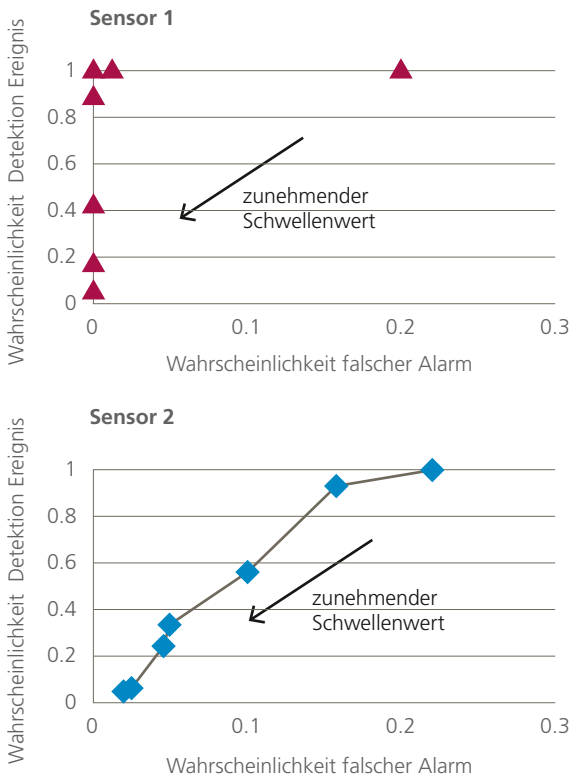


Abbildung 8: Sensorperformance für zwei verschieden positionierte Sensoren bei zunehmenden Schwellenwerten. Sensor 2 zeigt eine deutlich schlechtere Performance als Sensor 1.

Sensor detektiert bei einem niedrigen Schwellenwert zwar alle Ereignisse, gibt aber Fehlalarme aus. Bei einem hohen Schwellenwert kann die Zahl der Fehlalarme reduziert werden, aber gefährliche Ereignisse werden dann auch nicht mehr zuverlässig detektiert.

Die Qualität des Alarmentscheids kann durch eine gezielte Kombination der Alarmschwellenwerte (z. B. müssen zwei Sensoren zur gleichen Zeit ein Ereignis detektieren, damit die Alarmausgabe möglich ist) deutlich erhöht werden. Auch die Vorgabe von Mindestzeiten für Schwellenwertüberschreitungen, (z. B. im Sensor muss während mindestens 5 Sekunden ein Schwellenwert überschritten werden) kann eine deutliche Reduktion von Fehlalarmen bewirken. In der Praxis ist die Definition der Schwellenwerte anspruchsvoll und erfordert Erfahrung des Systemanbieters / -betreibers. Nicht selten können Alarmsysteme erst nach einer längeren Pilotphase zuverlässige Alarme erzeugen. Bis ein Schwellenwert optimal eingestellt ist, muss dieser immer wieder angepasst werden. Dabei dürfen tageszeitliche Schwankungen (z. B. bei Messungen im Fels findet mit der tageszeitlichen Erwärmung eine periodische Bewegung statt, die mit dem Prozess Felssturz nichts zu tun hat) und regelmässig aufkommende Störungen (z. B. durch Tiere, Strassenlärm, Steinschlag) nicht zu einem Alarm führen.

Interpretationsqualität Expertenteam

Bei Warnsystemen hängt der Entscheid über eine Warnung nur bedingt vom Schwellenwert ab. Bei diesem Systemtyp ist entscheidend, wie gut das Expertenteam die Situation einschätzen kann und wie die Entscheidungsträger mit der Einschätzung umgehen. Die Bewertung ist komplex und hängt von verschiedenen Kriterien ab:

- Datengrundlage und Verfügbarkeit der Daten,
- Erfahrung der Experten,
- Risikobereitschaft / Leistungsvermögen und Tagesform der Sicherheitsverantwortlichen,
- Personelle Verfügbarkeit / Stellvertretung,
- Teamfähigkeit / Zusammenarbeit,
- Qualität der Modelle und Zeitbedarf der Interpretation,
- Komplexität des Naturgefahrenprozesses / Überlagerung verschiedener Prozesse und Mehrfachabgänge, etc.

4.3 Zuverlässigkeit Ausgabe – Befolgung der Interventionsmassnahme

Die Zuverlässigkeit der Informationsausgabe entscheidet, inwieweit die Interventionsmassnahmen befolgt werden und ob dadurch Schaden verhindert wird. Über die Zuverlässigkeit der Interventionsmassnahmen entscheiden sowohl bei Alarmsystem als auch bei Warnsystemen folgende Faktoren:

- Möglichkeit, dass Methode missachtet oder ignoriert wird und Interpretationsspielraum bezüglich der Information,
- Anzahl falsche Alarme,
- Länge der Interventionszeit,
- Training / Übungen und Bewusstsein über Gefährdung / Konsequenzen,
- Austausch / Schnittstellen, etc.

4.4 Zuverlässigkeit der Komponenten und Systemaufbau – Versagenswahrscheinlichkeit

Die Zuverlässigkeit des FWS wird durch die Versagenswahrscheinlichkeit von einzelnen Komponenten und durch die damit verbundene Ausfallwahrscheinlichkeit von Teilsystemen oder des Gesamtsystems beeinflusst.

Zuverlässigkeit einzelner Komponenten

Die Zuverlässigkeit einzelner Komponenten kann durch Versagenswahrscheinlichkeiten quantifiziert werden. Die Versagenswahrscheinlichkeit einer Komponente insgesamt setzt sich aus verschiedenen möglichen Versagenswahrscheinlichkeiten zusammen:

- Technisches Versagen z. B. durch Alterung, Kurzschluss, Stromausfall etc.,
- Versagen verursacht durch andere Naturgefahren wie Steinschlag, Lawinen, Felsstürze, Eisabbrüche, Flutwellen, Überschwemmungen, Schneelast, Blitzschlag, Sturm, Hagel,
- Versagenswahrscheinlichkeiten durch klimatisch bedingte Einflüsse wie extreme Temperaturen, Frost, Feuchtigkeit, Staub, Nebel,
- Versagenswahrscheinlichkeiten durch Tiere, Vandalismus, Störgeräusche, Vibrationen (Strasse, Gleise) etc.

Zur Quantifizierung dieser Versagenswahrscheinlichkeiten können Spezifikationen, Erfahrungen und Expertenschätzungen herangezogen werden. Zudem muss berücksichtigt werden, wie lange es dauert, bis das Versagen einer Komponente detektiert wird, und wie lange es braucht, diese zu reparieren [5].

Zuverlässigkeit des Gesamtsystems

Die Zuverlässigkeit des gesamten Systems hängt von der Versagenswahrscheinlichkeit von Einzelkomponenten, aber auch direkt von der Konfiguration dieser Komponenten ab (Abb. 9). Um die Versagenswahrscheinlichkeit des Systems zu bestimmen, müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden [6]:

- Anzahl der Komponenten in Serie: Je höher die Anzahl der Komponenten in Serie, desto höher ist die Versagenswahrscheinlichkeit des Systems und desto niedriger die Zuverlässigkeit (Abb. 9a).
- Redundanzen: Je mehr Komponenten im System parallel angeordnet sind, desto höher ist die Zuverlässigkeit. Dies gilt insbesondere für unabhängige Komponenten (Abb. 9b).
- Abhängigkeiten: Komponenten unterliegen häufig Abhängigkeiten. Sobald mehrere Komponenten in einem redundanten System einer Abhängigkeit unterliegen, nimmt die Zuverlässigkeit ab (Abb. 9c).

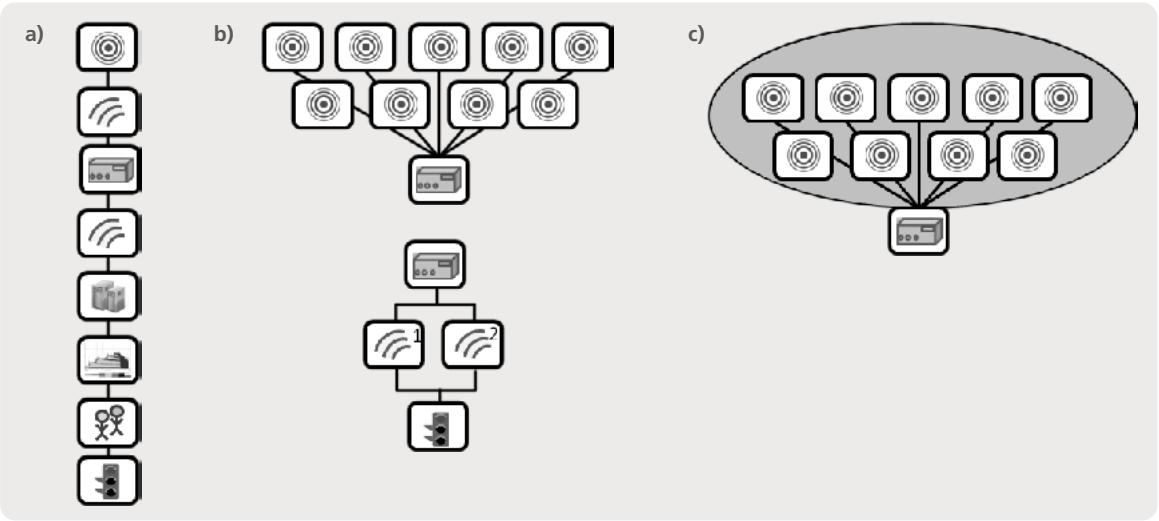


Abbildung 9: Systemkonfigurationen: a) Seriensystem b) Redundanz baugleicher (oben) und nicht baugleicher (unten) Komponenten c) Abhängigkeit.

Teil B: Entscheidungshilfen für den Praxiseinsatz

Die vorliegende Praxishilfe ergänzt die Vollzugshilfe Massenbewegungen [3] und stellt zwei Entscheidungshilfen zur Planung und Bewertung von FWS zum Schutz vor gravitativen Naturgefahrenprozessen zur Verfügung. Damit ein FWS als kosteneffiziente Massnahme eingesetzt werden kann, ist zu prüfen:

1. im Rahmen der Massnahmenplanung, welcher Typ (Warn- / Alarm- / Kombisystem) eine zweckmässige Massnahme für die jeweilige Problemstellung ist.
2. im Rahmen der Massnahmenbewertung, ob ein angebotenes FWS zuverlässig ist.

Nur ein zuverlässiges System kann eine hohe Wirksamkeit erzielen und ermöglicht eine kosteneffiziente Risikoreduktion. Ist das Risiko nicht akzeptabel, so werden alternative Massnahmenarten geprüft (u.a. bauliche, planerische Massnahmen). FWS kommen alleine oder in Kombination zum Einsatz.

1. Ist ein Alarm-, Warn- oder Kombisystem eine zweckmässige Massnahme?

Im Gegensatz zu aufwendigen, teuren und permanenten baulichen Massnahmen wie Steinschlagnetzen, Dämmen und Galerien erfordern FWS nur einen geringen Eingriff in die natürliche Umgebung und sind verhältnismässig günstige Massnahmen. Trotzdem sind sie nicht immer zweckmässig und es muss fallspezifisch entschieden werden, welcher Typ FWS empfehlenswert ist.

1.1 Entscheidungsdiagramm für die Wahl des Frühwarnsystem-Typs

Das folgende Entscheidungsdiagramm bietet eine grobe Hilfestellung zur Evaluation, ob die Ausgangslage eher für ein Warn-, Alarm- oder Kombisystem spricht (Abb. 10). Das Entscheidungsdiagramm beinhaltet zwei Bereiche: Risikobeurteilung und Massnahmenanalyse. Jeder Bereich beinhaltet Einschätzungen, welche zur finalen Entscheidung beitragen und Schritt für Schritt zu durchlaufen sind.

In der Risikobeurteilung werden Einschätzungen vorgenommen, welche dem Anwender helfen zu verstehen, welche Risiken vorhanden sind und ob diese akzeptabel sind.

1a Gefahr vorhanden?
Gefahrenanalyse: Ist eine Gefahr vorhanden und mit welcher Eintrittswahrscheinlichkeit (Häufigkeit) und Intensität muss gerechnet werden?

1b Objekt gefährdet?
Expositionsanalyse: Was ist das Schadenspotenzial? Welche Objekte / Personen sind gefährdet und wie hoch ist deren Präsenzwahrscheinlichkeit?

1c Risiko akzeptabel?
Risikoanalyse: Abschätzung des Schadens und des Risikos durch Verknüpfung der Gefahrenanalyse (Häufigkeit und Intensität) und der Expositionsanalyse. Die Abschätzung des Risikos und die Risikobewertung helfen zu entscheiden, ob Risiken tragbar sind (Verletzung der Schutzziele) oder ob Massnahmen ergriffen werden müssen.

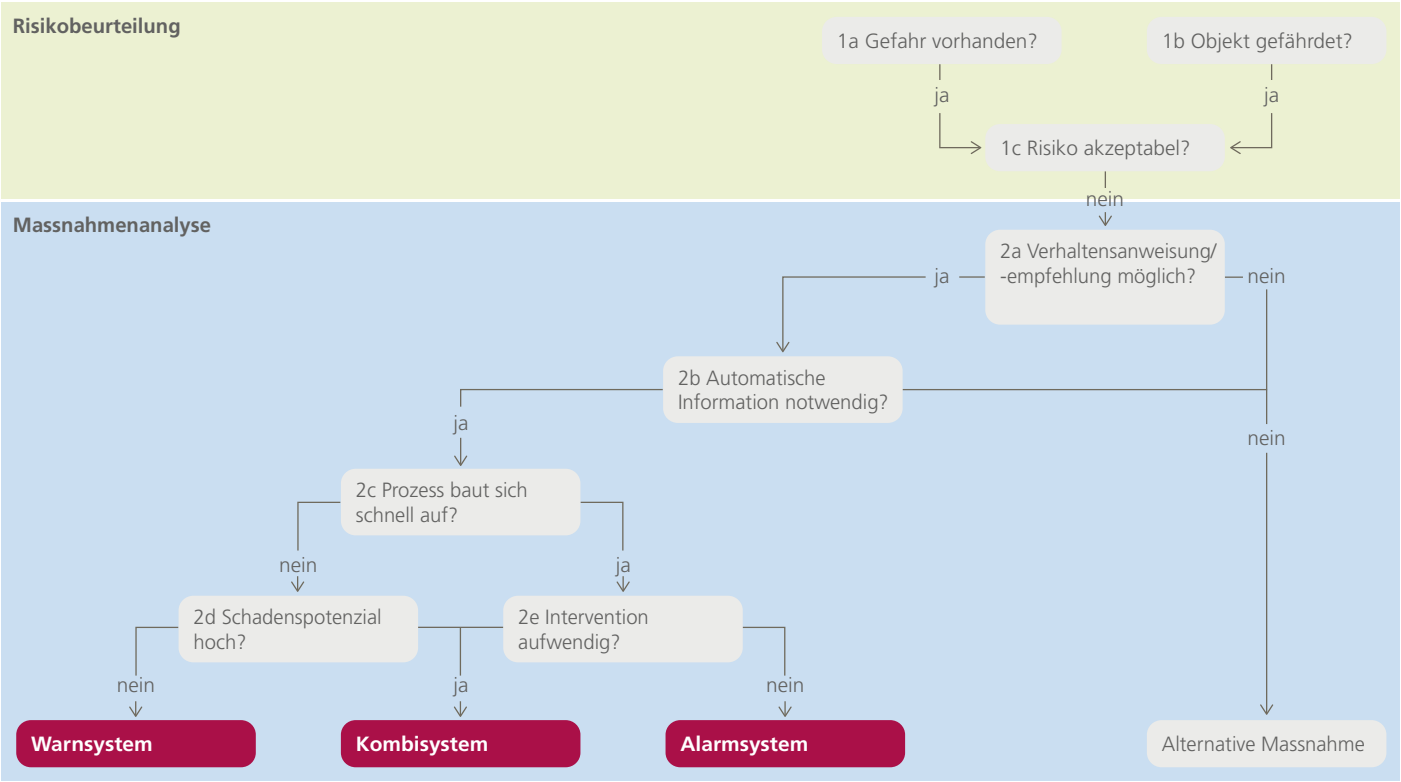


Abbildung 10: Entscheidungsdiagramm für die Wahl des FWS-Typs beinhaltet zwei Bereiche: Risikobewertung (oben) und Massnahmenanalyse (unten).

In der Massnahmenanalyse wird die Eignung von verschiedenen Massnahmen geprüft, um einschätzen zu können, ob und welcher Typ empfehlenswerter ist.

2a Verhaltensanweisungen / -empfehlungen möglich / sinnvoll?
Ist es möglich, in kritischen Situationen die Verkehrswege zu sperren bzw. Gebäude zu evakuieren oder Nutzungsbeschränkungen auszusprechen? Was sind die Konsequenzen einer Sperrung oder Evakuierung und sind diese machbar bzw. tragbar? Zusätzliche Kriterien: Umfang der Risikoreduktion, Verhältnismässigkeit, Umsetzungszeit.

2b Automatische Information notwendig?
Ist es möglich, eine Lagebeurteilung auf Basis von Erfahrungen, Wettervorhersagen, Bulletins etc. vorzunehmen oder braucht es automatisch generierte Informationen (z. B. SMS oder E-Mail)? Gebietsspezifische Warn- oder Alarmsysteme generieren entsprechende Informationen und helfen somit kritische Situationen und gefährliche Ereignisse frühzeitig zu erkennen.

2c Baut sich das Naturereignis schnell auf?
Handelt es sich um ein spontan eintretendes, sich schnell aufbauendes Ereignis oder finden vor Eintritt kontinuierliche Veränderungen in der Umgebung statt, welche auf ein Ereignis hindeuten?

2d Schadenspotenzial hoch?
Sind Menschenleben oder wertvolle Infrastrukturen gefährdet? Soll bei kritischen Veränderungen eine Warnung ausgegeben und sollen ausserdem automatisierte Interventionen bei der Detektion eines bereits stattfindenden Ereignisses eingeleitet werden?

2e Intervention aufwendig?
Wie lange ist die benötigte Interventionszeit? Reicht es aus, automatisierte Aktionen (Rotlicht, Sperrung, Fahrleitungsunterbruch) einzuleiten oder ist die Zeit zu knapp? Müssen aufwendige Evakuierungen und Sperrungen durchgeführt werden?

2. Ist das angebotene Frühwarnsystem zuverlässig?

Jedes FWS muss individuell und unter Berücksichtigung von gebietsspezifischen Anforderungen in Zusammenarbeit mit Naturgefahrenexperten, Systemanbietern/-betreibern und Nutzern entwickelt werden. FWS zu bewerten, zu vergleichen und auszuwählen, bleibt eine wahre Herausforderung. Trotzdem können grundsätzliche Kriterien zusammengefasst werden, die bei der Entwicklung und beim Betreiben eines zuverlässigen FWS zu berücksichtigen sind. Checkliste I beinhaltet relevante Fragen zur Bewertung der Zuverlässigkeit des FWS. Checkliste II beinhaltet Fragen zur Einschätzung der Systemanbieter/-betreiber und ihrer Dienstleistungen.

2.1 Checkliste I: Bewertung Zuverlässigkeit des Frühwarnsystems

Zuverlässigkeit Erfassung

- Ist der Naturgefahrenprozess (Gutachten etc.) verstanden worden?
- Ist ein Geologe oder ein anderer Naturgefahrenexperte an der Auswahl der Überwachungsparameter beteiligt?
- Werden entscheidende Parameter für die Detektion der Naturgefahr überwacht?
- Werden unterschiedliche Parameter überwacht?
- Ist das Messprinzip (Punktmessung, Flächenmessung etc.) der Situation angepasst?
- Werden unterschiedliche Parameter mit verschiedenen Messmethoden überwacht?
- Ist die Position der Sensoren so gewählt, dass entscheidende Veränderungen detektiert werden, aber auch so, dass sie vor äusseren Einflüssen geschützt sind?
- Ist die Messgenauigkeit ausreichend?
- Ist die zeitliche Auflösung der Messung ausreichend (Messintervall)?
- Können Messparameter leicht (remote) kalibriert werden?
- Ist Stand-by-Betrieb zwischen den Messungen möglich, um den Stromverbrauch zu reduzieren?
- Ist die lokale Kommunikation zwischen Sensoren und Auswerteeinheit auch bei widrigen Bedingungen (z. B. Schnee bei Funk) sichergestellt?

Zuverlässigkeit Interpretation

- Sind die Schwellenwerte passend gewählt, so dass gefährliche Ereignisse detektiert, aber falsche Alarme vermieden werden?
- Werden Massnahmen zur Verhinderung von falschen Alarmen (z. B. Kombination Schwellenwerte, der Situation angepasster Auswertalgorithmus) ergriffen?
- Können Schwellenwerte angepasst werden und wird diese Änderung dokumentiert?
- Ist genug Speicherplatz in der lokalen Auswerteeinheit (Logger) vorhanden?
- Werden die Daten in Echtzeit übermittelt?
- Werden Industriestandards für die Software eingehalten (z. B. Versionskontrolle)?
- Sofern die Datenübertragung auf dem Mobilfunknetz stattfindet: Sind mehrere Sender im Gebiet vorhanden, damit die Verfügbarkeit hoch ist?

Für Warnsysteme:

- Ist das Expertenteam richtig zusammengesetzt (z. B. Anzahl, Kompetenz) und ist seine Verfügbarkeit gewährleistet?
- Sind die gewählten Modelle und Methoden zur Datenanalyse der Situation angepasst und können sie korrekt verwendet werden?

Zuverlässigkeit Ausgabe

- Sind die Interventionsmassnahmen ausreichend?
- Ist die verfügbare Interventionszeit ausreichend?
- Werden zeitkritische Alarme auf direktem Weg bzw. kürzestem Weg übertragen?
- Können falsche Alarme schnell erkannt und die Interventionsmassnahmen aufgehoben werden?
- Sind klare Kriterien für die Aus- und Auflösung der Interventionsmassnahme definiert?
- Werden Fehlalarme und Ereignisse in einem Journal dokumentiert?
- Ist das verbleibende Restrisiko tragbar?

Für Warnsysteme:

- Sind Abläufe und Verantwortungen innerhalb des Expertenteams klar definiert?
- Wird die Bevölkerung geschult und werden Evakuationen trainiert?

Zuverlässigkeit Komponenten und Systemaufbau

- Sind die Komponenten kompatibel zueinander?
- Sind die Komponenten für extreme Bedingungen (extreme Temperaturen bzw. Temperaturwechsel, Feuchtigkeit, Wind etc.) getestet worden?
- Ist ein ausreichender Blitzschutz integriert?
  - Erdung,
  - Überspannungsschutz,
  - Blitzfänger, falls die Lage es erfordert.
- Sind alle Komponenten gut befestigt und wo notwendig durch Schutznetze oder Zäune vor Zugriff durch Personen und Tiere geschützt?
- Ist die Anzahl der Komponenten, die in Serie angeschlossen sind, auf ein Minimum reduziert?
- Sind die verschiedenen Funktionen redundant aufgebaut?
- Sind Abhängigkeiten (z. B. keine Messung bei Nebel) vorhanden, welche die erhöhte Zuverlässigkeit durch Redundanzen aufheben?
- Wo ist die schwächste Stelle im System und ist deren Versagenswahrscheinlichkeit akzeptabel?
- Gibt es eine Kontrolleinrichtung für Datenqualität / Plausibilität?
- Gibt es eine Kontrolleinrichtung für die Verfügbarkeit der Komponenten?
- Sind Massnahmen vorgesehen, damit irrtümliche Änderungen am System (z. B. Schwellenwert) erkannt werden?
- Ist eine konstante Stromversorgung gewährleistet (Notstrom)?
- Reicht es aus die Anlage saisonal zu betreiben?

2.2 Checkliste II: Bewertung der Zuverlässigkeit des Systemanbieters / -betreibers

- Hat der Systemanbieter / -betreiber Erfahrung in den Bereichen?
  - Naturgefahren,
  - Datenmanagement / -software,
  - Sensortechnik.
- Ist ein Geologe oder ein anderer Naturgefahrenexperte am Projekt beteiligt?
- Gibt es einen Wartungsplan?
- Sind Ersatzteile vorhanden oder in kurzer Zeit erhältlich?
- Können Reparaturen vom Anbieter / Betreiber selbst durchgeführt werden?
- Besitzt der Anbieter / Betreiber eine eigene Werkstatt und qualifiziertes Personal?
- Ist der Anbieter / Betreiber ISO-zertifiziert oder sind die Prozesse anderweitig klar definiert und wird ein professionelles Projektmanagement betrieben?
- Besteht ein redundantes Datenmanagementsystem und werden regelmässige Backups gemacht?
- Wurden Systemschwächen und Restrisiken vom Anbieter offen und frühzeitig (Offerte) kommuniziert?
- Sind Haftungsfragen klar beantwortet und besteht ausreichender Versicherungsschutz durch den Anbieter / Betreiber?
- Werden Schulungen für die Anwender (hier Sicherheitsverantwortliche) angeboten?
- Sind Daten passwortgeschützt im Internet abrufbar und wird das Datenportal regelmässig aktualisiert?
- Gibt es einen Pikettdienst und ist der Anbieter / Betreiber bei technischen Problemen jederzeit verfügbar?
- Stehen im Notfall ausreichend personelle Ressourcen zur Verfügung?
- Wird die Ausarbeitung eines Betriebskonzeptes unterstützt, welches Verantwortlichkeiten und Abläufe für den Normalbetrieb und den Ereignisfall klar regelt?
- Verfügt der Anbieter / Betreiber über ein unabhängiges Kontrollsystem?
- Verfügt der Anbieter / Betreiber über Notstromaggregate?

Teil C: Systembeispiele aus der Praxis

In der Schweiz ist eine Vielzahl von FWS zum Schutz vor gravitativen Naturgefahren im Einsatz. Nachfolgend werden sechs bewährte Systeme im Detail beschrieben.

1. Flutwelle: Warnsystem Plaine Morte (BE)

Naturgefahr

- *Prozess:* Oberhalb der Gemeinde Lenk befinden sich drei Gletscherseen, welche sich spontan entleeren können, so dass Flutwellen in Richtung Lenk entstehen.
- *Häufigkeit:* In den Sommermonaten kommt es praktisch jährlich zu Flutwellen.
- *Schadenspotenzial:* Die Flutwellen gefährden Personen und unterhalb der Seen gelegene Siedlungen, ein Hotel, einen Campingplatz, Wanderwege und eine Alp.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Ab beginnender Entleerung der Seen bleiben Stunden bis wenige Tage für Interventionen, ab Beginn des Pegelanstiegs im Gletscherbach sind es nur wenige Stunden. Die Fliesszeit vom Sensor im Gletscherbach bis zu den gefährdeten Objekten ist kleiner als 30 Minuten.

Warnsystem

- *Seit:* Das Warnsystem wird seit 2012 betrieben.
- *Grund:* Das betroffene Gebiet ist gross und die Erreichbarkeit der Personen mittels einer automatisierten Intervention schwierig. Zudem müssen situationsbedingte Verhaltensanweisungen ausgegeben werden.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Die Entleerung der Seen konnte in den Jahren 2012 und 2013 dank der Pegelmessung im See ca. 2 bis 3 Tage im Voraus erkannt werden.
- *Kosten:* Die Kosten für die Erstinstallation liegen bei ca. 110 000 Fr. und für den Betrieb bei ca. 20 000 – 40 000 Fr. / Jahr (inkl. Montage Frühling, Demontage Herbst, Betrieb Sommermonate, exkl. Aufwand Sicherheitsverantwortliche vor Ort).
- *Ansprechpartner:* Bauverwaltung der Gemeinde Lenk.

Abbildung 11: Plaine Morte Gletschersee.
Foto: L. Meier / GEOPRAEVENT AG

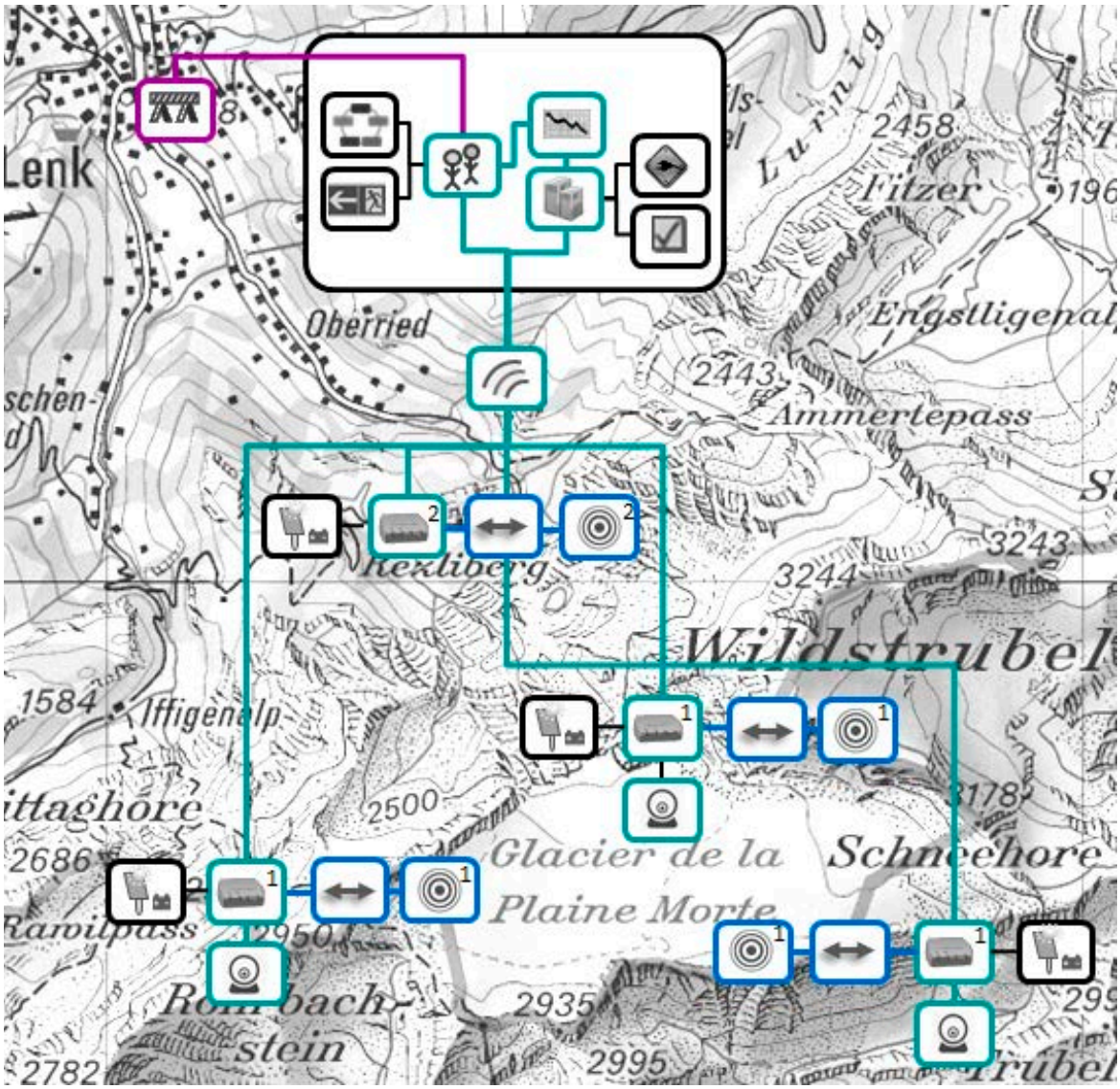
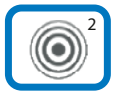


Abbildung 12: Komponenten und Informationsfluss des Warnsystems Plaine Morte.

Erfassung

Lokale Datenerfassung 1
Drei Drucksonden sind in den Gletscherseen installiert, um das Absinken / Entleeren zu überwachen.



Lokale Datenerfassung 2
Ein Pegelradar detektiert Flutwellen im unteren Abschnitt des Gletscherbachs.

Lokale Kommunikation
Die Verbindung zwischen den Sensoren und der Auswerteeinheit erfolgt im Feld mit geschützten Kabelverbindungen.

Interpretation

Datenauswertung 1
Drei Datenlogger steuern die Drucksonden und beinhalten Schwellenwerte. Der Schwellenwert für eine Warnung lag im Jahr 2013 bei 14 cm im Vergleich zum Mittelwert der letzten Stunde; der Schwellenwert der Drucksonde für einen Alarm lag bei 20 cm im Vergleich zum Mittelwert der letzten Stunde.

Datenauswertung 2
Ein Datenlogger steuert das Pegelradar und beinhaltet Schwellenwerte. Diese lagen für eine Warnung bei 1 m und für einen Alarm bei 1.5 m.

Datenübertragung
Die Übermittlung der Daten von der Auswerteeinheit zum zentralen Server und zu den Verantwortlichen erfolgt über e-Alarm (priorisierte SMS Swisscom).

Datenverwaltung
Die erfassten Messdaten werden auf redundanten Servern der Firma GEOPRAEVENT gesammelt. Die Datensicherung erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Die Messdaten werden analysiert, in Grafiken aufgearbeitet und stehen passwortgeschützt im Internet zur Verfügung.

Zusatzinformation
Bei jedem See stehen Webcams mit Liveübertragung zur Verfügung.

Expertenentscheid
Der Entscheid über eine Intervention erfolgt im Team, welches aus Sicherheitsverantwortlichen der Gemeinde besteht. Zudem steht die kantonale Fachstelle beratend zur Seite.

Ausgabe

Organisierte Intervention
Die Intervention erfolgt mittels gezielter Sperrung / Evakuation durch die Feuerwehr im potenziellen Überschwemmungsgebiet. Kritische Wegabschnitte werden gesperrt.

Stromversorgung

Autonome Stromversorgung
In abgelegenen Gebieten werden die Sensoren, die Webcams und die Auswerteeinheiten durch Solarzellen und Batterie betrieben.

Netzstromversorgung
Die Komponenten zur Datenverwaltung und -analyse sind an das öffentliche Stromnetz angebunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrollsystem
Ein unabhängiger Server überprüft alle 15 Minuten die Verfügbarkeit von Komponenten und die Batteriespannungen. Zudem werden unbeabsichtigte Änderungen der Schwellenwerte und Veränderungen der Softwareversion detektiert.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Die Anlage wird im Herbst abgebaut und bei GEOPRAEVENT eingelagert. Während der Wintermonate wird die Funktion der Komponenten überprüft, defekte Bauteile getauscht, die Software bei Bedarf angepasst und kleinere Updates vorgenommen.

Interventionsplan [7]
Darin sind die detaillierten Abläufe und Verantwortungen für die verschiedenen Stufen beschrieben.

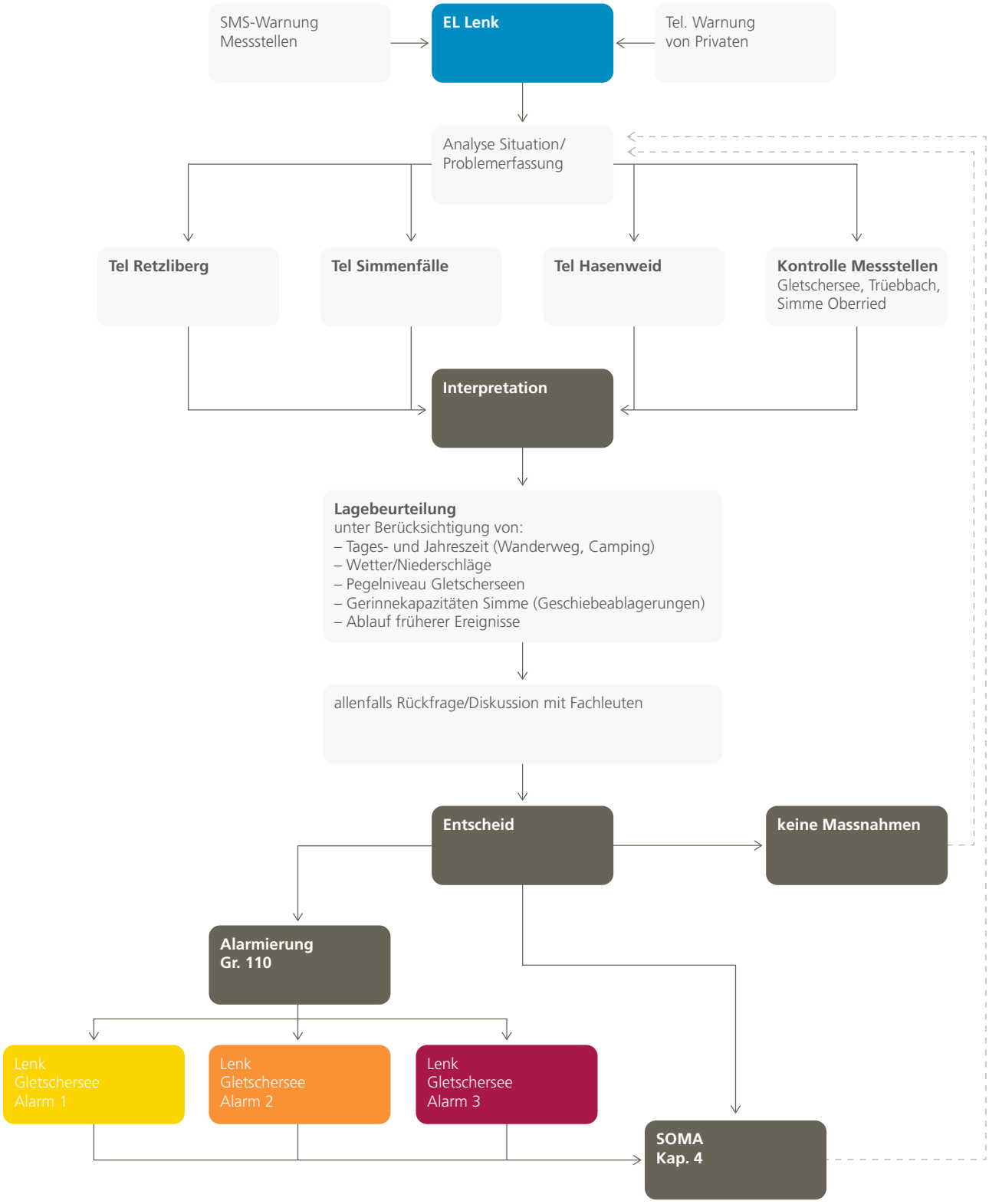


Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Interventionsplan des Warnsystems Plaine Morte [7]

	Feuerwehr	Gemeinde	GFO
Grundaufgabe	– Info	– Überwachung (Seen und Trüebbach, Meteo) – Zustand Gewässer	– Überwachungsanlage – Überwachung (Seen und Trüebbach, Meteo) – Zustand Gewässer – Komm / Medien – Orientierung
Warnung 1	– evtl. Wasserwache	– Beurteilung Pegel und Meteo	– Sp Wanderwege und Brücken – Signalisierung – Beurteilung Pegel und Meteo, allenfalls in Rücksprache OIK
Warnung 2	– Sp Wanderwege Retzliberg – Sp Wanderwege Tal Simmendamm – evtl. Wasserwache	– Beurteilung Pegel und Meteo – Info gem. Tel-Liste 1 – Gästeliste Camping und Hotel Simmenfälle anfordern	– Sp Wanderwege und Brücken – Signalisierung – Beurteilung Pegel und Meteo, allenfalls in Rücksprache OIK
Alarm	– Evak Camping – Sp Wanderwege Retzliberg – Sp Wanderwege Tal Simmendamm – Sp Oberreidstrasse Wasserwache	– Beurteilung Pegel und Meteo – Tel-Warn gem. Liste 2 – Verhaltensanweisung Hotel Simmenfälle – Gästeliste Camping und Hotel Simmenfälle anfordern	– Sp Wanderwege und Brücken – Signalisierung – Beurteilung Pegel und Meteo, allenfalls in Rücksprache OIK – Info / Komm / Medien – Org. Liste Notunterkünfte
Ereignis	– Evak Camping – Sp Wanderwege Retzliberg – Sp Wanderwege Tal Simmendamm – Sp Oberreidstrasse Wasserwache	– Beurteilung Pegel und Meteo – Tel-Warn gem. Liste 3 inkl. Verhaltensanweisung – Gästeliste Camping und Hotel Simmenfälle anfordern – Info Unterlieger	– Sp Wanderwege und Brücken – Signalisierung – Beurteilung Pegel und Meteo, allenfalls in Rücksprache OIK – Info / Komm / Medien – Org. Liste Notunterkünfte

Tabelle 4: Erläuterungen zu Abbildung 13.

2. Murgang: Kombisystem Illgraben (VS)

Naturgefahr

- *Prozess:* Oberhalb der Gemeinde Leuk befindet sich ein Murganggerinne mit einer überdurchschnittlich hohen Murgangaktivität.
- *Häufigkeit:* Jedes Jahr in den Sommermonaten ereignen sich mehrere kleinere / mittlere Murgänge. Das letzte grosse Ereignis (500 000 m³) hat im Jahr 1961 stattgefunden.
- *Schadenspotenzial:* Die regelmässigen, eher kleinen / mittleren Murgänge gefährden Fussgänger, die das Gerinne an vorgesehenen Übergängen durchqueren; bei grossen Murgängen sind Siedlungsgebiete und Verkehrswege gefährdet.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Je nach Geschwindigkeit stehen nach Eintritt des Murgangs ca. 5 – 15 Minuten zur Verfügung.

Kombisystem

- *Seit:* Das Kombisystem wird seit 2006 betrieben.
- *Grund:* Da die verfügbare Interventionszeit, welche ein reines Alarmsystem liefern würde, nicht ausreicht, um die Siedlungsgebiete bei grossen Ereignissen zu evakuieren, wurde ein Kombisystem gebaut. Dieses detektiert kleinere / mittlere Murgänge und überwacht zusätzlich relevante Veränderungen (Starkregen und Verfügbarkeit Material), die auf ein grosses Ereignis hinweisen.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Mit dem integrierten Alarmsystem konnten seit 2006 über 30 Ereignisse, die im Gerinne blieben, zuverlässig detektiert werden; dabei wurde im Jahr 2007 ein falscher Alarm ausgelöst. Zu Beginn war die Dauer der Alarmierung zu knapp gewählt, so dass der Alarm bereits vorüber war als Murgänge den Übergang erreichten. Dies wurde in der Zwischenzeit behoben.
- *Kosten:* Die Kosten für die Erstinstallation liegen bei ca. 150 000 Fr. und der Betrieb bei ca. 20 000 bis 30 000 Fr. / Jahr (inkl. Montage Frühling, Demontage Herbst, Betrieb Sommermonate, exkl. Aufwand Beobachter).
- *Ansprechpartner:* Polizei der Gemeinde Susten.

Abbildung 14: Detektionsstandort Illgraben.
Foto: C. Graf / WSL

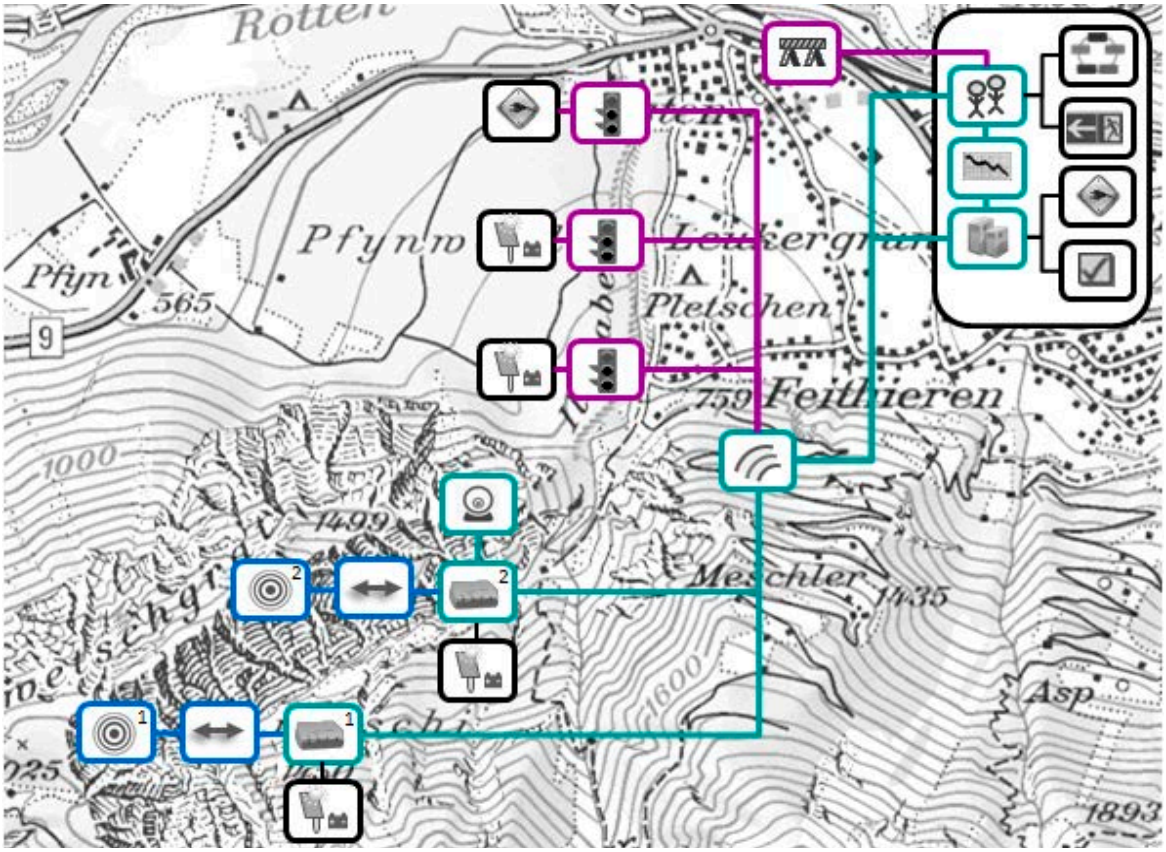


Abbildung 15: Komponenten und Informationsfluss des Kombisystems Illgraben.

Erfassung

Lokale Datenerfassung 1
Ein Geophon ist im oberen Gerinne installiert, um Erschütterungen zu erfassen.

Lokale Datenerfassung 2
Zwei Geophone und zwei Radargeräte sind etwas weiter unten im Gerinne positioniert und detektieren Erschütterungen und die Fliesshöhe.

Lokale Kommunikation
Die Verbindung zwischen den Sensoren und der Auswerteeinheit erfolgt im Feld mit geschützten Kabelverbindungen.

Interpretation

Datenauswertung 1
Ein Datenlogger im oberen Gerinne steuert das Geophon und beinhaltet einen Schwellenwerte, der bei 10 Impulse / 5 Sek. liegt.

Datenauswertung 2
Der untere Datenlogger steuert die beiden Geophone und Radargeräte und enthält kombinierte Schwellenwerte. Der Alarm erfolgt nur, wenn sowohl in einem Radar als auch in einem Geophon die Schwellenwerte überschritten werden. Für das Radar sind das entweder 30 cm / 20 Sek. oder 50 cm / 20 Sek und für beide Geophone 20 Impulse / 5 Sek.

Datenübertragung
Die Übermittlung der Daten von den entlegenen Auswerteeinheiten erfolgt über ein Modem, einen Anrufempfänger und -vermittler via GSM. Letztere stehen im Gemeindehaus und leiten Alarme ebenfalls via GSM an die Alarmstationen weiter.

Datenverwaltung
Die Messdaten werden auf einem zentralen Datenserver gesammelt. Die Datensicherung erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Die Messdaten werden analysiert, in Grafiken aufgearbeitet und stehen im Internet zur Verfügung.

Zusatzinformation
Niederschlagsmessungen, eine Webcam und geschulte Beobachter erfassen periodisch relevante Veränderungen in der Umgebung und helfen, ungewöhnliche Situationen (viel Lockermaterial, Sturzaktivität, Verklausungen etc.) frühzeitig zu erkennen.

Expertenentscheid
Der Entscheid über eine organisierte Intervention erfolgt im Team (Sicherheitskommission Gemeinde) und unter Beizug eines externen Experten.

Ausgabe

Automatisierte Intervention
Drei Alarmstationen mit je einem Modem, einem Anrufempfänger, einer Sirene und einem Rotlicht alarmieren die Fussgänger an den Übergängen. Zusätzlich erhalten die Sicherheitsverantwortlichen eine Information.
Die Auslaufzeit beträgt 10 Minuten und startet, wenn Schwellenwerte, die alle 5–6 Minuten geprüft werden, nicht mehr überschritten werden.

Organisierte Intervention
Die Intervention erfolgt mittels gezielter Sperrung / Evakuation durch Einsatzkräfte (Polizei, Feuerwehr etc.).

Stromversorgung

Autonome Stromversorgung
In abgelegenen Gebieten werden Sensoren, Auswerteeinheiten und zwei Alarmeinheiten durch Solarzellen und Batterien betrieben.

Netzstromversorgung
Die Datenverwaltung und eine Alarmstation sind an das öffentliche Stromnetz angebunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrolle
Ein System überprüft die Batteriespannung, die Plausibilität der Daten und die Verfügbarkeit von GSM und von allen Sensoren.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Zweimal pro Jahr findet ein Kontrollgang durch die Sicherheitskommission Illgraben und einen externen Berater (Geologe) statt. Es besteht ein Wartungsvertrag mit definiertem Kostendach mit der WSL. Die WSL steht zudem für spezifische Rückfragen zu Prozessabläufen zur Verfügung (Coaching) und liefert weiterführende Informationen zu Murgangereignissen, welche zusätzlich durch die automatische Forschungsstation erfasst werden.

Interventionsplan [8]
Darin sind die detaillierten Abläufe und Verantwortungen für die verschiedenen Stufen beschrieben.

Typ – Art	Kantonale Ebene	Kommunale Ebene		
	Ausgelöst durch	Erhalten von:	Weitergeleitet an:	Anzahl Personen
Warnung Acqua	Zentrale	Fw-Kdt	Gmd-Präsi Stabschef Chef Lage	3
Warnung Tempo		Fw-Kdt	Gmd-Präsi Stabschef Chef Lage	3
Alarm Alto		Fw-Kdt Gmd-Präsi Stabschef	Alle Stabsmitglieder GFS	3

Zeit	Aufgaben	Verantwortlicher	Bemerkungen
Warnung Aqua	Lagerapport Vorbereiten der Sofortmassnahmen Einrichtung des Führungsposten	Stabschef	Nachprüfung der Pla- nung (Aktualisierung)
H	Entscheid der Evakuierung	Gemeinde / Stabschef	Absprache Einsatzleiter
H + 10’	Aufgebot der Einsatzformationen	Einsatzleiter	FW –x Pers. ZS –x Pers. Samariter –x Pers. Polizei –x Pers. Techn. Dienste –x Pers.
H + 40’	Koordinationsrapport	Stabschef / Einsatzleiter	GFS
H + 60’	Information an die betroffenen Abschnitte über die Evakuierung	Chef Info	Gemäss Planung
H + 90’	Stand der Arbeiten alle 30’ rückmelden	Alle	
H + 90’	Zufahrtsstrassen, -wege sind abgesperrt und überwacht	Einsatzleiter / Chef Sicherheit	
H + 90’	Personenkontrolle der Evakuierung Zugangskontrolle	ZS / FW	
H + 90’	Organisation Transport	Chef Logistik	
H + 90’	Kontakt mit Unterkunft	Chef Logistik	
H + 90’	Organisation Hilfsmittel zur Evakuation	Einsatzleiter	
H + 90’	Sicherstellung Informationsfluss	Chef Info	
H + 120’	Kontrolle des evakuierten Gebietes	Einsatzleiter / ZS	
H + 140’	Ende der Evakuation	Einsatzleiter / ZS	

H = Entscheid über vorbeugende Evakuierung

Abbildung 16: Ausschnitt aus dem Interventionsplan des Kombisystems Illgraben. [8]

3. Schneelawine: Alarmsystem Hägrigen (UR)

Naturgefahr

- *Prozess:* Ein Streckenabschnitt über einer Brücke nahe Wassen wird durch Lawinen bedroht.
- *Häufigkeit:* Die Jährlichkeit für Schneelawinen auf die Brücke liegt bei ca. 30 Jahren.
- *Schadenspotenzial:* Zugverkehr und Bahninfrastruktur der SBB.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Wenige Sekunden zwischen einem Ereignis auf dem Gleise und einem heranfahrenden Zug.

Warnsystem

- *Seit:* Das Alarmsystem wird seit 2012 betrieben.
- *Grund:* Bei mehreren Lawinenabgängen in Folge kann der Durchlass unter der Brücke verstopft werden und Lawinen können bis auf die Gleise kommen. Ein Direkttreffer wird mit dem System nicht verhindert, aber das Risiko, dass ein Zug auf Lawinenablagerungen auffährt, kann reduziert werden. Damit Streckensperrungen und Zugausfälle durch Fehlalarme verhindert werden können, wird jeder Alarm vom nahegelegenen Wärterhaus aus überprüft.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Das einfache System funktioniert zuverlässig und durch den zusätzlichen Expertenentscheid konnten Verspätungen durch Fehlalarme eliminiert werden. Seit der Installation des Alarmsystems sind noch keine zu detektierenden Ereignisse aufgetreten.
- *Kosten:* Die Kosten für die Erstinstallation liegen bei ca. 15 000 Fr. und für den Betrieb bei ca. 5000 Fr. / Jahr (inkl. Montage Herbst, Demontage Frühjahr, Betrieb Wintermonate, exkl. Aufwand Sicherheitsverantwortliche vor Ort).
- *Ansprechpartner:* Abteilung Natur und Naturrisiken SBB.

Abbildung 17: Reissleinen unter der Brücke.
Foto: L. Meier / GEOPRAEVENT

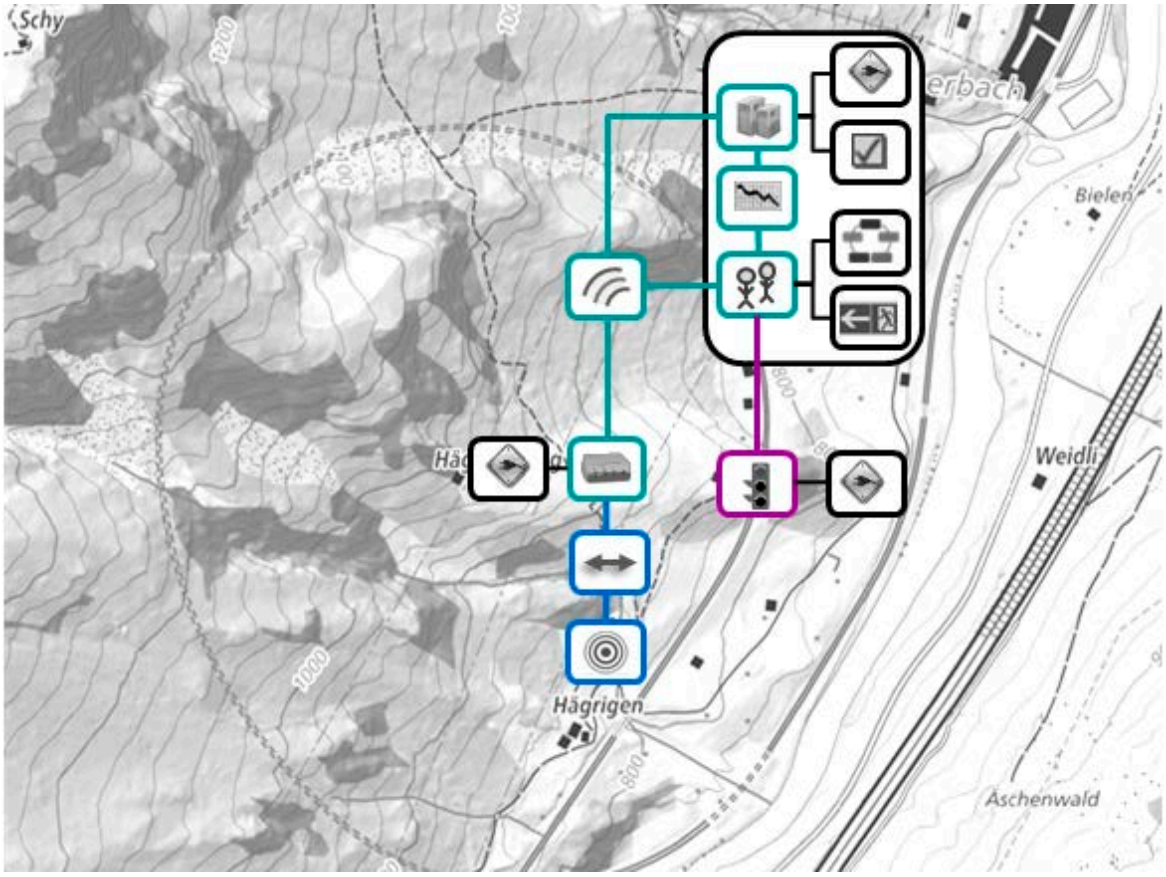


Abbildung 18: Komponenten und Informationsfluss des Alarmsystems Hägrigen.

Erfassung

Lokale Datenerfassung
Zwei Reissleinen, die im Brückenbogen auf unterschiedlicher Höhe montiert sind.

Lokale Kommunikation
Die Verbindung zwischen den Sensoren und der Auswerteeinheit erfolgt im Feld mit geschützten Kabelverbindungen.

Interpretation

Datenauswertung
Ein Datenlogger überwacht den Zustand der Reissleinen und löst einen Alarm aus, wenn die untere Leine reisst oder wenn die obere Leine reisst, falls die untere schon gerissen ist.

Datenübertragung
Datenübertragung vom Logger zum Wärterhaus via Kabel und zu SBB und GEOPRAEVENT über GSM / e-Alarm (priorisierte SMS Swisscom).

Datenverwaltung
Erfolgt auf redundanten Servern der Firma GEOPRAEVENT. Die Datensicherung erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Aufarbeitung aller Messdaten in Grafiken, welche passwortgeschützt im Internet abrufbar sind.

Expertenentscheid
Bei kritischer Lawinensituation ist ein nahegelegenes Wärterhäuschen ständig besetzt. Sobald ein Alarm von der Auswerteeinheit ausgelöst wird, werden im Wärterhäuschen akustische und visuelle Alarmmittel aktiviert und der Wärter entscheidet innerhalb von Sekunden, ob er den Alarm weitergibt. Ferner werden die Verantwortlichen der SBB mittels priorisierter SMS alarmiert.

Ausgabe

Automatisierte Intervention
Der Wärter kann einen Zugstopp veranlassen.

Stromversorgung

Netzstromversorgung
Das Alarmsystem ist an das Stromnetz der SBB angebunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrollsystem
Ein unabhängiger Server überprüft alle 15 Minuten die Verfügbarkeit von Komponenten und die Batteriespannungen. Zudem werden Änderungen der Schwellenwerte und Veränderungen der Softwareversion überwacht.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Die Reissleinen werden durch die SBB im Sommer entfernt und im Winter wieder installiert. Die Anlage wird von GEOPRAEVENT jährlich gewartet.

Interventionsplan [9]
Die Intervention ist in einem internen Regelwerk der SBB beschrieben.

4. Stein- und Blockschlag: Alarmsystem Kaschirand (SZ)

Naturgefahr

- *Prozess:* Ein Streckenabschnitt nahe Arth-Goldau (Kaschirand) ist durch Stein- und Blockschlag bedroht.
- *Häufigkeit:* Die Jährlichkeit für einen Steinschlag liegt bei 30 Jahren und für einen Blockschlag bei 100 Jahren. Das letzte Ereignis war ein Blockschlag im Jahr 2009.
- *Schadenspotenzial:* Ein Ereignis gefährdet den Zugverkehr und die Bahninfrastruktur der SBB.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Zwischen einem Ereignis auf die Gleise und dem Eintreffen eines heranfahrenden Zugs stehen oft nur wenige Sekunden zur Verfügung.

Abbildung 19: Schutznetze mit Sensoren.
Foto: T. Meisel / IPS – INGLAS

Alarmsystem

- *Seit:* Das Alarmsystem wird seit 2010 betrieben.
- *Grund:* Unterdimensionierte Schutzverbauungen wurden mit einem Alarmsystem nachgerüstet um Überlastereignisse auf dem Gleis umgehend zu detektieren. Damit Streckensperrungen und Zugausfälle durch Fehlalarme verhindert werden, ist das Alarmsystem «intelligent» programmiert. Zusätzlich wird jeder Alarm im Kontrollzentrum (OCI) von einem Experten überprüft.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Dank dieser Systemkonfiguration und den zusätzlichen Expertenentscheid konnten Verspätungen durch Fehlalarme eliminiert werden. Seit der Installation des Alarmsystems sind keine zu detektierenden Ereignisse aufgetreten.
- *Kosten:* Es liegen keine Angaben vor.
- *Ansprechpartner:* Abteilung Natur und Naturrisiken SBB.

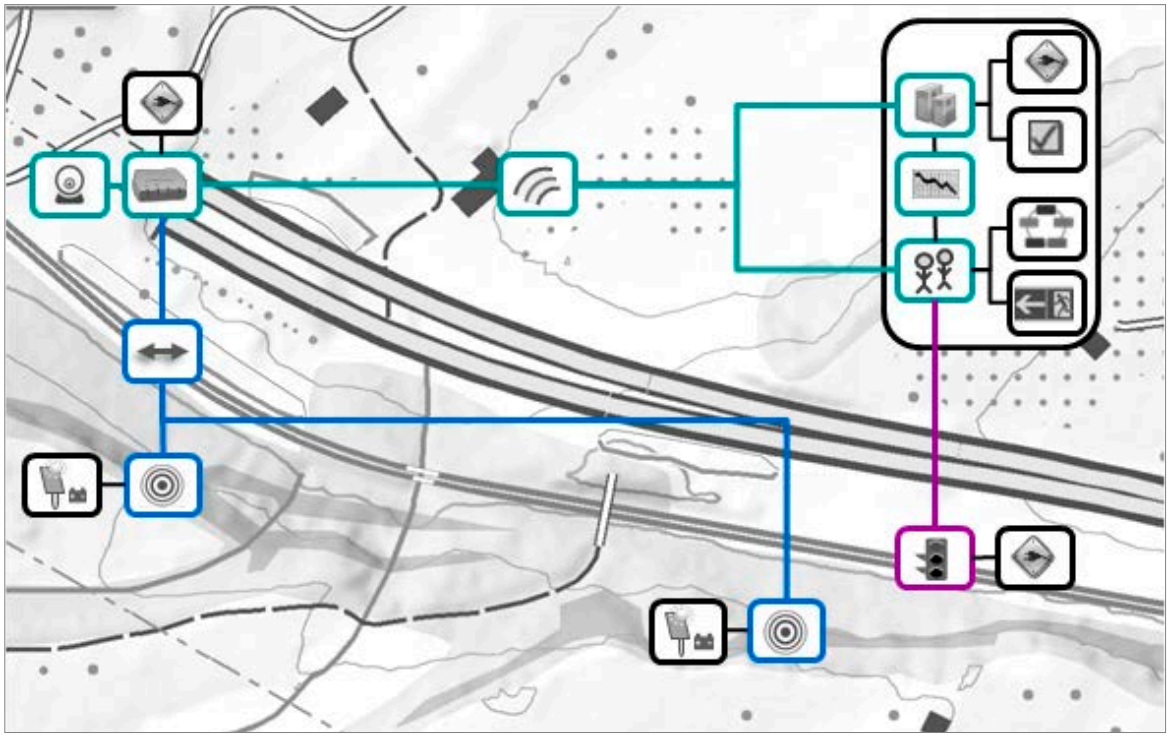


Abbildung 20: Komponenten und Informationsfluss des Alarmsystems Kaschirand.

Erfassung

Datenerfassung
Zwei Steinschlagnetze mit je 21 Sensoren sind an den Gleisen installiert. Die Geophone erfassen Erschütterungen und die Reissleinen die Kräfte auf das Netz. Bei einem Ereignis werden diese ausgerissen.

Lokale Kommunikation
Die Verbindungen zwischen den Sensoren und der Auswerteeinheit erfolgen im Feld via Funk (868 MHz). Zwei Repeater erweitern die Reichweite der Funkverbindung vor Ort.

Interpretation

Datenauswertung
Die Auswerteeinheit besteht aus einem Empfänger und einem Datenlogger. Sie übermittelt den Alarm bei Schwellenwertüberschreitung. Wenn mehrere Reissleinen beschädigt sind, wird ein «schwerer Alarm» ausgegeben; wenn eine Reissleine beschädigt ist und Erschütterungen an mehreren Sensoren registriert werden, führt das zu einem «leichten Alarm», und wenn nur Erschütterungen registriert werden, wird eine «Trend»-Information ausgegeben.

Datenübertragung
Die Übermittlung der Daten von der Auswerteeinheit zum Kontrollzentrum (OCI) und zum Fahrdienstleiter ist redundant und erfolgt über das Festnetz und über GSM-R.

Datenverwaltung
Die erfassten Messdaten werden auf redundanten Servern (SBB Luzern/Zürich) gesammelt. Die Sicherung der Daten erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Die Messdaten werden analysiert und der Zustand aller Netze und Sensoren wird im Kontrollzentrum (OCI) visualisiert.

Expertenentscheid
Ein Experte im Kontrollzentrum (OCI) muss den Alarm innert 90 Sekunden überprüfen um die Strecke allenfalls wieder freizugeben oder notwendige Massnahmen einzuleiten. Dies ist möglich, da das Kontrollzentrum (OCI) 24/7/365 besetzt ist.

Zusatzinformation
Bei jeglicher Art von Alarm müssen die verantwortlichen Personen vor Ort gehen, um die Lage zu beurteilen. An einem Standort stehen Bilder einer Webcam zur Verfügung, um erste Informationen zu erhalten.

Ausgabe

Automatisierte Intervention
Bei einem «schweren Alarm» geht dieser einerseits zum Fahrdienstleiter, der die Strecke sperrt und andererseits ans Kontrollzentrum (OCI), wo ein Experte den Alarm innerhalb von 90 Sekunden bestätigt oder aufhebt. Eine weitere Handlungsoption ist die Fahrt auf Sicht.

Stromversorgung

Autonome Stromversorgung
In abgelegenen Gebieten werden die Sensoren und die Repeater über Solarzellen und Batterie sowie über einen integrierten Piezogenerator betrieben.

Netzstromversorgung
Die Auswerteeinheiten und das Kontrollzentrum (OCI) sind an das öffentliche Stromnetz angebunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrollsystem
Die Funktionalität der Sensoren, der Auswerteeinheiten und der Datennetze wird von der SBB redundant in zwei Zentren (Luzern und Zürich) online überwacht.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Die Sensoren verschmutzen und müssen in regelmässigen Abständen gereinigt werden.

Interventionsplan [9]
Die Intervention wird vom Kontrollzentrum (OCI) geleitet und ist in einem internen Regelwerk der SBB beschrieben.

5. Felssturz: Warnsystem Preonzo (TI)

Naturgefahr

- *Prozess:* Eine instabile Felsmasse kann sich jederzeit lösen und ins Tal stürzen.
- *Häufigkeit:* In den Jahren 2002 und 2012 haben sich 150 000 m³ und 300 000 m³ gelöst.
- *Schadenspotenzial:* Die instabile Felsmasse gefährdet die im Tal liegende Industriezone, eine Kantonsstrasse und eine Autobahn.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Die Felsbewegung nimmt vor dem Ereignis mehrere Tage / Wochen lang deutlich zu.

Warnsystem

- *Seit:* Das Warnsystem wird in dieser Form seit 2010 betrieben.
- *Grund:* Die Felsbewegung ist ein kontinuierlicher Prozess, der sich vor dem Ereignis beschleunigt und ausreichend Interventionszeit zur Evakierung der Fabrik und zur Sperrung der Strassen zulässt.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Ein grösserer Abbruch (ca. 300 000 m³) konnte im Mai 2012 erfolgreich vorhergesagt werden. Kurz vor und während des Ereignisses wurden die meisten Sensoren im relevanten Gebiet beschädigt. Ein interferometrischer Radar war hilfreich, um wetterunabhängig zu entscheiden, wann die Interventionsmassnahmen aufgelöst werden konnten.
- *Kosten:* Die Kosten für die Erstinstallation des Warnsystems liegen bei ca. 250 000 Fr. und der Betrieb kostet ca. 10 000 Fr. / Jahr (exkl. Aufwand Sicherheitsverantwortliche vor Ort).
  Die Erstinstallation der Sirenen kostete 110 000 Fr. und deren Betrieb ca. 5000 Fr. / Jahr.
- *Ansprechpartner:* Sezione Forestale des Kantons Tessin.

Abbildung 21: Preonzo nach Felssturz 2012.
Foto: G. Valenti / Kanton Tessin

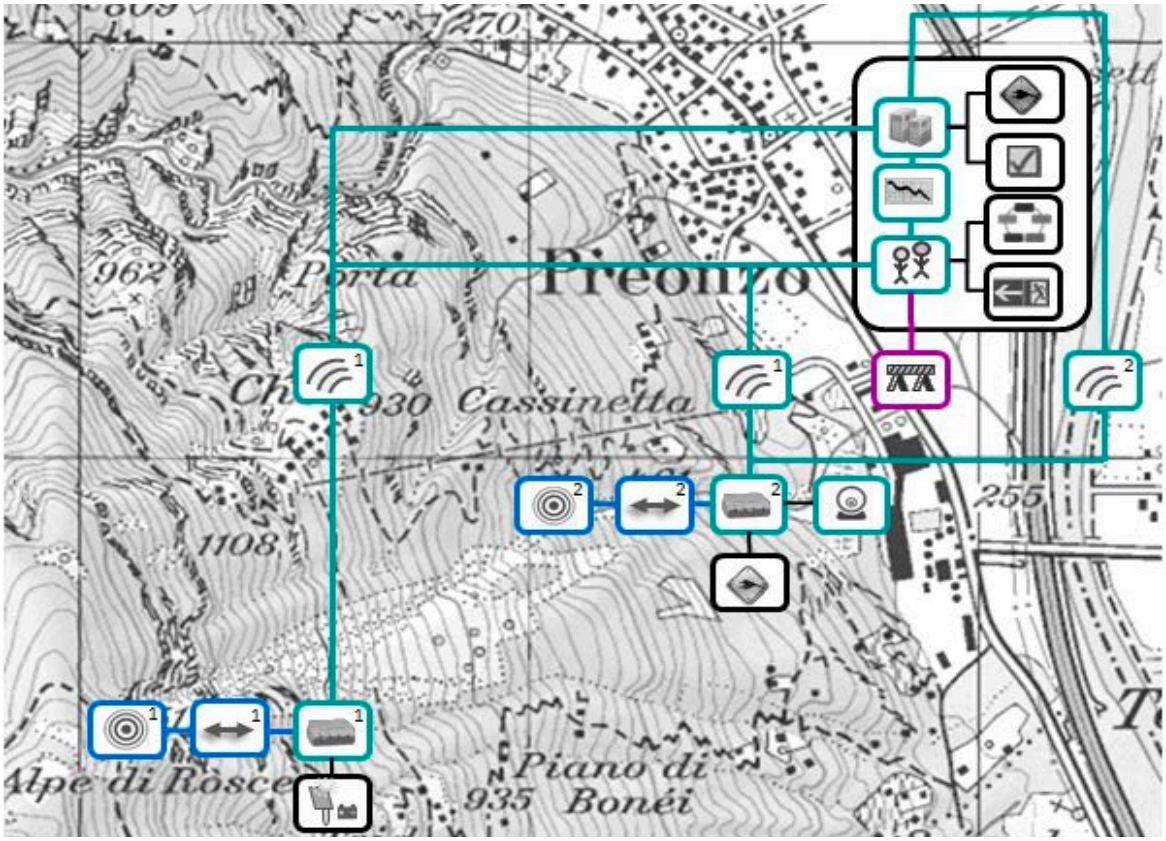
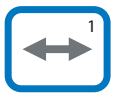


Abbildung 22: Komponenten und Informationsfluss des Warnsystems Preonzo.

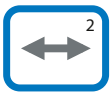
Erfassung

Lokale Datenerfassung 1
Fünf Extensometer im oberen Gebiet überwachen die Bewegung in der Kluftöffnung.

Lokale Datenerfassung 2
Eine Totalstation vermisst 14 Spiegel, die gegen die Talseite des Berges montiert sind.



Lokale Kommunikation 1
Die Verbindung zwischen den Extensometern und der Auswerteeinheit bei der Kluftöffnung erfolgt mit geschützten Kabelverbindungen. Zäune schützen die Kabelverbindungen vor Tierbissen.



Lokale Kommunikation 2
Es handelt sich um eine berührungslose Messung über Infrarot.

Interpretation

Datenauswertung 1
Ein Logger steuert die Messungen der Extensometer und beinhaltet abgestufte Schwellenwerte. Eine Vorwarnung wird bei einer Geschwindigkeit von mehr als 1 mm / Tag ausgegeben, eine Warnung sobald mehr als 3 mm / h gemessen werden, und ein Alarm wenn es mehr als 5 mm / h sind.

Datenauswertung 2
Die Totalstation wird über einen PC mit integrierter Spezialsoftware im Tal gesteuert. Dort sind Schwellenwerte hinterlegt, die bei einer Geschwindigkeit von mehr als 50 mm / Tag eine Warnung auslösen.

Datenübertragung 1
Die Übermittlung der Daten von der abgelegenen Auswerteeinheit der Extensometer zum zentralen Server und zu den Verantwortlichen erfolgt über GSM.

Datenübertragung 2
Die Übermittlung der Information an die Sicherheitverantwortlichen erfolgt über GSM, während die Daten vom PC der Totalstation zum zentralen Server via Internet ADSL versendet werden.

Datenverwaltung
Die erfassten Messdaten werden auf einem zentralen Datenserver des Kantons Tessin gesammelt. Die Datensicherung erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Die Messdaten werden analysiert, in Grafiken aufgearbeitet und stehen im Internet frei zur Verfügung. Um den Absturzzeitpunkt vorherzusagen, wird der Kehrwert der Bewegungsrate (1 / v) verwendet.

Zusatzinformation
Eine Webcam bei der Totalstation und Regenmessungen an der Kluftöffnung liefern wichtige Zusatzinformationen.

Expertenentscheid
Der Entscheid über eine Intervention erfolgt im Team, welches aus Naturgefahrenverantwortlichen des Kantons und Vertretern der Gemeinde besteht.

Ausgabe

Organisierte Intervention
Die Evakuierung in den betroffenen Fabrikgebäuden kann manuell oder durch Sirenen eingeleitet werden. Die Sperrung der Strasse erfolgt durch die Einsatzkräfte (Polizei etc.). Der Entscheid über die Aus- und Auflösung der Massnahmen wird zusammen mit dem Expertenteam getroffen.

Stromversorgung

Autonome Stromversorgung
In abgelegenen Gebieten werden die Extensometer und die Auswerteeinheit durch Solarzellen und Batterien betrieben.

Netzstromversorgung
Die Totalstation mit PC sowie die Komponenten der Datenverwaltung sind an das öffentliche Stromnetz angebunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrollsystem
Ein Kontrollsystem sendet den Experten eine Information, wenn die Systemkomponenten nicht verfügbar sind. Zudem werden die Signalqualität des GSM-Netzes und die Batteriespannung überprüft.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Drei bis viermal im Jahr macht der Kantonsgeologe einen Kontrollgang.

Interventionsplan [10]
Darin sind die detaillierten Abläufe und Verantwortungen für die verschiedenen Stufen beschrieben.

	Vorwarnung	Warnung	Alarm
	Interventionsmassnahme		
1	Messdaten alle 4 Stunden analysieren Bereitschaft Expertenteam Bereitschaft eines Gemeinde-mitarbeiters	Messdaten jede Stunde analysieren	Messdaten kontinuierlich analysieren
2	Einrichtung eines Bereitschaftsdienst zur Sichtkontrolle, wenn sich die Situation innerhalb von zwei Tagen nicht verbessert	Einrichtung Krisentelefon	Evakuierung Kommunikation mit Stromversorgung
3	Benachrichtigung an die Kantonspolizei Benachrichtigung an das Kantonale Amt für Strassen Benachrichtigung an die betroffene Gemeinde	Benachrichtigung an Firmen und Anwohner der Gefahrenzone Kommunikation mit beteiligten Stellen	Einrichtung Network Operations Center NOC Sperrung Kantonsstrasse Vorbereitung zur Sperrung der Autobahn
4		Vorbereitungen zur Sperrung der Kantonsstrasse Vorbereitung zur Sperrung der Autobahn	Information an den Staatsrat
	Verantwortliche		
1	Expertenteam Gemeinde	Expertenteam Gemeinde	Expertenteam Gemeinde
2	Expertenteam Gemeinde	Gemeinde	Krisenstab Kantonspolizei
3	Gemeinde	Krisenstab	Kantonspolizei
4		Kantonspolizei	Krisenstab

Abbildung 23: Ausschnitt aus dem Interventionsplan des Warnsystems Preonzo [10].

6. Rutschung: Warnsystem Grindelwaldgletscher (BE)

Naturgefahr

- *Prozess:* Die Moräne oberhalb des Gletschersees am unteren Grindelwaldgletscher zerfällt langsam. Im Jahr 2009 drohte sie in den Gletschersee zu stürzen, wodurch eine Flutwelle hätte entstehen können.
- *Häufigkeit:* Einmaliges Ereignis im Frühling 2009.
- *Schadenspotenzial:* Ein grösseres Ereignis hätte die Siedlungen und Verkehrswege von Grindelwald bis Interlaken, Wanderwege, Campingplätze und den Schluchtsteg in der Gletscherschlucht gefährdet.
- *Verfügbare Interventionszeit:* Zwischen einer deutlichen Beschleunigung der Rutschung und dem Eintreffen der Flutwelle im Gefahrengebiet wären nur wenige Stunden zur Verfügung gestanden.

Abbildung 24: Moränenabbruch
Foto: N. Hählen / Kanton Bern

Warnsystem

- *Seit:* Das Warnsystem wurde im Jahr 2009 betrieben.
- *Grund:* Das Warnsystem überwacht die Bewegungen an der Moräne, um die Verantwortlichen vor gefährlichen Abbrüchen frühzeitig zu warnen, damit notwendige Interventionen eingeleitet werden können.
- *Infos; Zuverlässigkeit / Erfahrungen:* Das Ereignis konnte erfolgreich vorhergesagt werden.
- *Kosten:* Die Kosten für die Erstinstallation beliefen sich auf rund 23 000 Fr. (Miete der Anlage (Grundpauschale)) und der Betrieb kostete ca. 300 Fr. / Tag.
- *Ansprechpartner:* Abteilungsvorsteher Naturgefahren des Amtes für Wald im Kanton Bern.

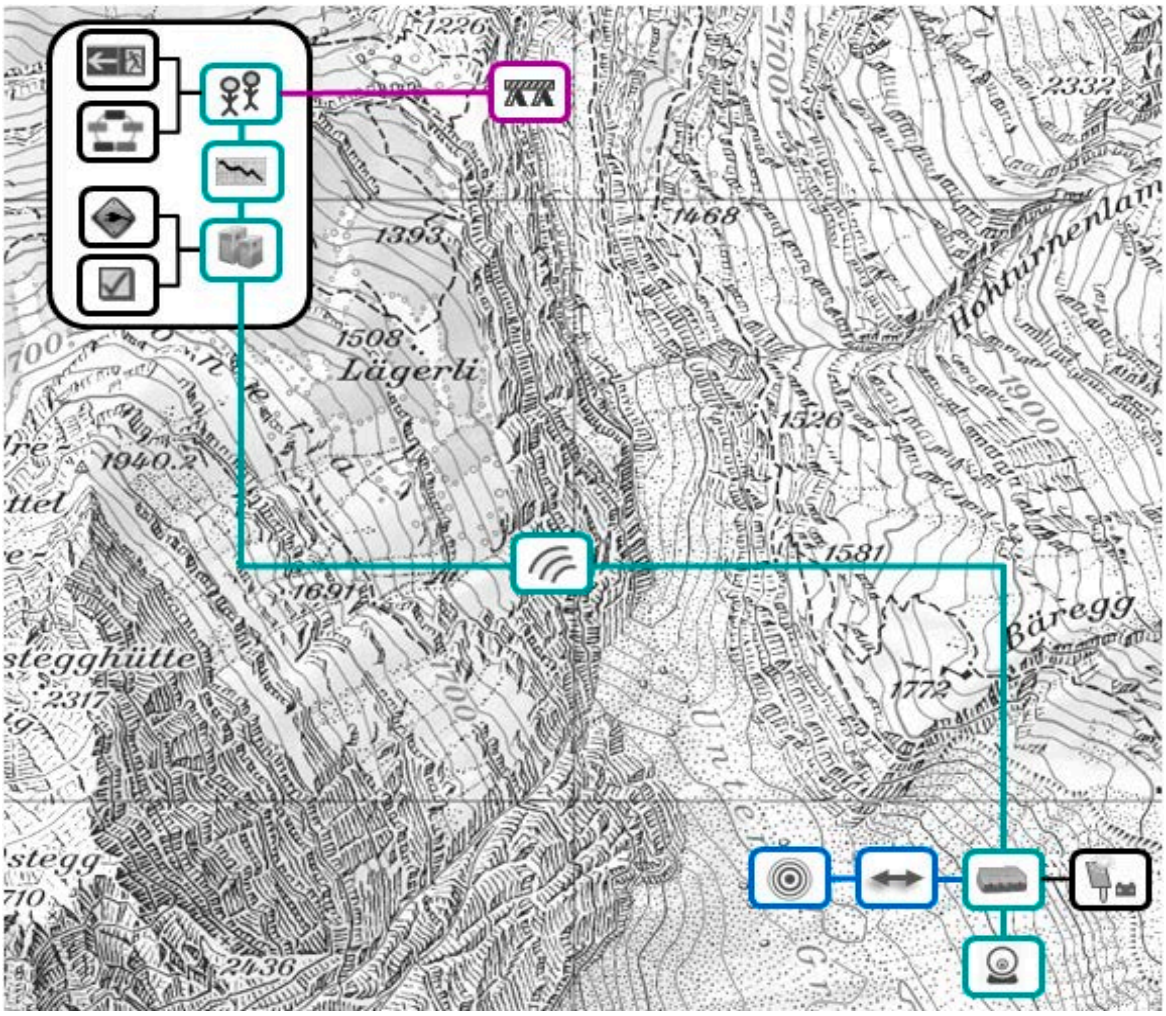


Abbildung 25: Komponenten und Informationsfluss des Warnsystems Grindelwald.

Erfassung

Datenerfassung
Auf dem Rutschkörper wurden vier Spiegel angebracht, welche regelmässig (alle 15 Minuten) mit einem Tachymeter vermessen wurden.

Lokale Kommunikation
Es handelt sich um eine berührungslose Messung über Infrarot.

Interpretation

Datenauswertung
Ein Verarbeitungsprogramm steuert die Messungen und ist im Tachymeter integriert. Ein Datenlogger zeichnet die Messwerte auf und gibt Warnungen bei Schwellenwertüberschreitung aus.

Datenübertragung
Die Übermittlung der Daten von der Auswerteeinheit zum zentralen Server erfolgt über das Mobilfunknetz.

Datenverwaltung
Die erfassten Messdaten werden auf einem zentralen Datenserver gesammelt. Die Datensicherung erfolgt auf einem Backupserver.

Datenanalyse
Um den Absturzzeitpunkt zu prognostizieren, wird der Kehrwert (1 / v) verwendet.

Zusatzinformation
Eine Webcam erstellt dreimal täglich ein Bild der Moräne und des Gletschersees.

Expertenentscheid
Der Entscheid über eine Intervention erfolgt im Team, welches aus Naturgefahrenverantwortlichen des Kantons, Verantwortlichen der Gemeinden und einem privaten Geologiebüro besteht.

Ausgabe

Organisierte Intervention
Die Evakuierung und Sperrung der gefährdeten Gebiete erfolgt durch Einsatzkräfte (Polizei etc), der Aufbau von mobilen Hochwasserschutzmassnahmen durch die Feuerwehr.

Stromversorgung

Autonome Stromversorgung
Eine Kleinturbine in der Bäregghütte wird zur Versorgung des Tachymeters verwendet.

Netzstromversorgung
Der zentrale Server ist mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden.

Kontrolleinrichtung

Kontrollsystem
Durch Begehungen der Moräne (Hüttenwart der Bäregghütte sowie Sicherheitsverantwortliche der Gemeinde und der Fachstelle Kanton) fanden periodisch optische Kontrollen statt.

Betriebskonzept

Wartungs- und Ablaufplan
Es gab keinen Wartungsplan, da das System nur während einer relativ kurzen Akutphase eingesetzt wurde.

Interventionsplan [11]
Darin waren die detaillierten Abläufe und Verantwortungen für die verschiedenen Stufen beschrieben.

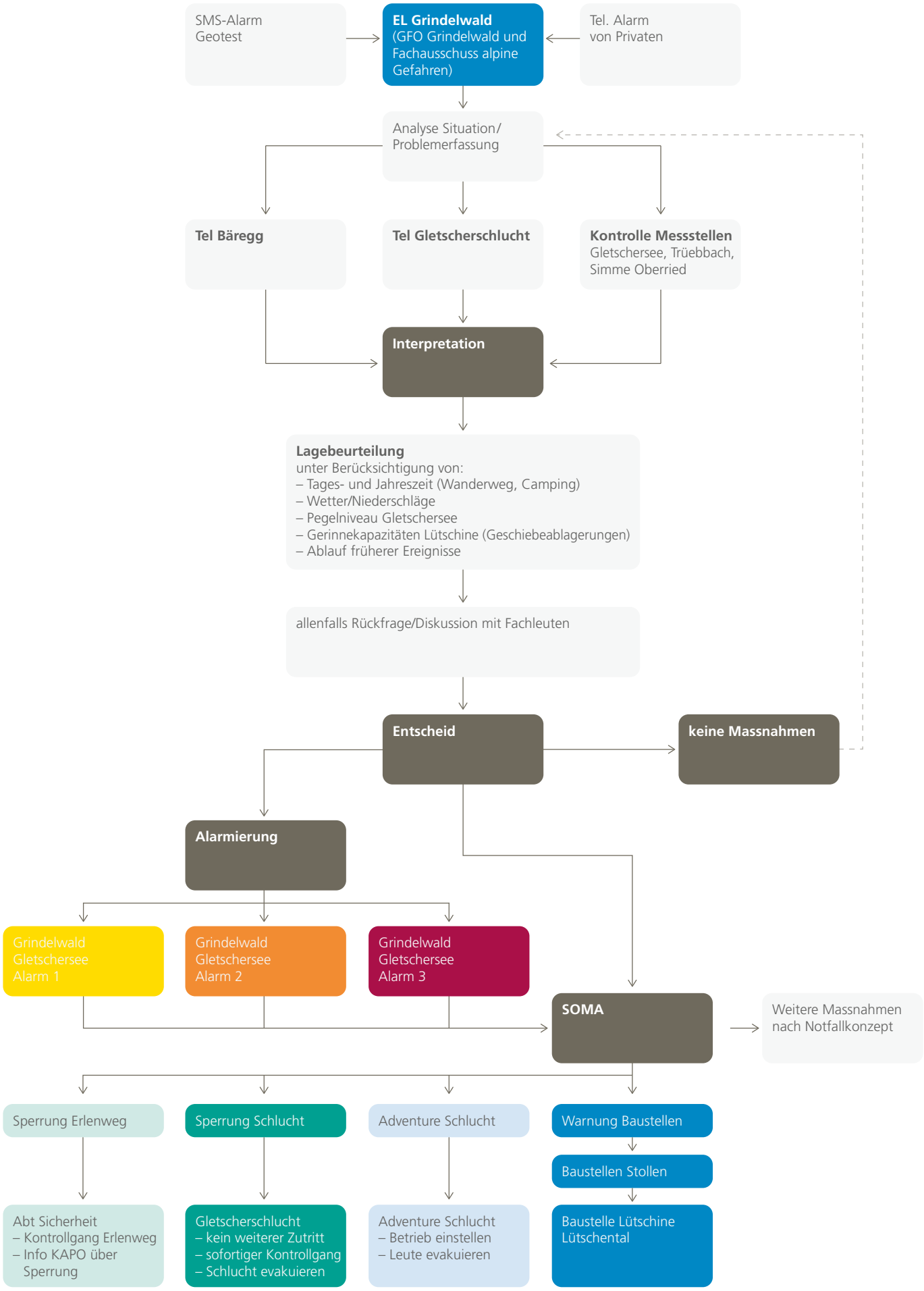


Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Interventionsplan des Warnsystems Grindelwald [11].

Glossar und Referenzen

Glossar

Alarmsystem
Einrichtungen, die gefährliche Naturereignisse detektieren, um umgehend eine automatisierte Alarmierung einzuleiten. Zum Zeitpunkt der Detektion ist der Informationswert der Daten maximal und dafür ist die resultierende Interventionszeit minimal. Die Alarmierung basiert auf einem oder mehreren Schwellenwerten, die meist für Prozessparameter zur Detektion von spontanen Ereignissen festgelegt sind.

Bergsturz
Absturz sehr grosser, im ursprünglichen Felsverband mehr oder weniger kohärenter Felsmassen unter Erreichung hoher Geschwindigkeiten, wobei der Transportmechanismus durch eine starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten («Sturzstrom») gekennzeichnet ist. [3]

Eissturz
Abbruch von Eis aus Felswänden oder Gletschern mit einem Gesamtvolumen von mehr als 100 m^3. [12]

Felssturz
Sturz einer Felsmasse, die während des Sturzes oder beim Aufprall in Blöcke und Steine fraktioniert wird, wobei die Interaktionen zwischen den Komponenten keinen massgebenden Einfluss auf die Dynamik des Ereignisses haben. [3]

Frühwarnsystem
Einrichtungen, die dazu dienen, zeitnahe und aussagekräftige Informationen zu generieren und auszugeben, damit gefährdete Personen, Gemeinden oder Organisationen sich vorbereiten und zeitnah Massnahmen zur Schadensreduzierung einleiten können. [1]

Hochwasser
Als Hochwasser wird der Zustand in einem Gewässer bezeichnet, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten (Schwellen-)Wert erreicht oder überschritten hat. [13]

Integrales Risikomanagement
Risikomanagement, bei dem alle Arten von Massnahmen betrachtet werden, sich alle Verantwortlichen an der Planung und Umsetzung beteiligen und ökologische, wirtschaftliche und soziale Nachhaltigkeit angestrebt wird (in Anlehnung an [3]).

Intervention
Automatisiertes oder organisiertes Einleiten von Massnahmen, um das Schadenspotenzial zu vermindern.

Verfügbare Interventionszeit
Zeit zwischen der Warnung bzw. dem Alarm und dem Eintritt des Schadensereignisses.

Kombisystem
Das Kombisystem erfüllt sowohl die Funktion von Warn- als auch von Alarmsystemen.

Murgang
Schlammlawine aus einem Gemisch von Wasser, Geröll, Schutt und allenfalls Baumstämmen. Murgänge entwickeln sich im steilen Oberlauf eines Baches und können sehr hohe Fliessgeschwindigkeiten erreichen.[3]

Naturgefahren
Sämtliche Vorgänge in der Natur, die für Mensch, Umwelt und Sachgüter schädlich sein können.
Für diese Praxishilfe sind gravitative Naturgefahren von Interesse: [3]

- Wassergefahren (Überschwemmung, Übermurung, Ufererosion, Oberflächenabfluss, Grundwasseraufstoss, Kanalisationsrückstau)
- Rutschung (permanent und spontan, Hangmure)
- Sturzprozesse (Stein- und Blockschlag, Fels- und Bergsturz, Eisschlag, Einsturz, Absenkung)
- Lawine (Fliess- und Staublawine, Schneerutsch)

Redundanz
Das mehrfache Vorhandensein von Systemkomponenten oder Funktionen um den Betrieb sicherzustellen und die Zuverlässigkeit zu erhöhen.

Risiko
Ausmass und Wahrscheinlichkeit möglicher Schäden.[3]

Rutschung
Hangabwärts gerichtete Bewegung von Hangbereichen aus Fels und / oder Lockergesteinsmassen auf einer Gleitfläche (oder längs eines Scherbruches).[3]

Schneelawine
Vorgang, bei dem sich im Anrissgebiet losgelöster Schnee oder Eis plötzlich und schnell in einer Sturzbahn als gleitende Masse (Fliesslawine) oder wirbelndes Schnee-Luft-Gemisch (Staublawine) abwärts bewegt und in einem Ablagerungsgebiet zum Stillstand kommt.[3]

Schwellenwert
Ist ein vordefinierter Wert, der als Grenze für die Warnung oder Alarmierung festgelegt wird.

Stein-, Blockschlag
Fallen, Springen und Rollen von isolierten Steinen (ø < 50 cm) und Blöcken (ø > 50 cm).[3]

Versagenswahrscheinlichkeit
Komplementärer Wert der Zuverlässigkeit. Kann durch die Ausfallrate berechnet werden.[6]

Warnsysteme
Einrichtungen, die eine automatisierte Warnung abgeben, wenn ein erhöhtes Gefahrenpotenzial besteht, damit Experten die Situation beurteilen und passende Interventionsmassnahmen einleiten können. Zum Zeitpunkt der Warnung ist der Informationswert der Daten zwar verhältnismässig gering, dafür ist die Interventionszeit verlängert. Die meisten Warnsysteme beinhalten vordefinierte Schwellenwerte für Veränderungen, so dass langsam aufbauende Ereignisse frühzeitig erkannt werden.

Wirksamkeit
Mass, um welches das Risiko durch eine Massnahme (hier: Frühwarnsystem) reduziert wird. Frühwarnsysteme verhindern massgeblich, dass Personen und mobile Objekte einem gefährlichen Ereignis ausgesetzt sind.

Zuverlässigkeit
Ein Frühwarnsystem erfüllt seine zugewiesene Funktion und ist zuverlässig, wenn es gefährliche Ereignisse zeitnah detektiert und Schaden verhindert.

Überwachungsmöglichkeiten
Parameter, welche durch Sensoren überwacht werden (auslösende Ereignisse, variable Disposition und Prozessparameter) und zur Früherkennung von Naturereignissen dienen.

Referenzen

[1] UNISDR. Terminology. Geneva: The United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2007. http://www.unisdr.org/we/inform/terminology. (Letzter Zugriff: 19. Juni 2014).

[2] Sättele M. (2015). Quantifying the Reliability and Effectiveness of Early Warning Systems for Natural Hazards. Dissertation TU München.

[3] BAFU (2015). Vollzugshilfe Schutz vor Massenbewegungsgefahren.

[4] Zimmermann M. (Ed.). (1997). Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. vdf Hochschulverlag AG.

[5] Sättele M., Bründl M., Straub D. (2013). Bayesian networks to quantify the reliability of a debris flow alarm system. Proc. 11th International Conference on Structural Safety & Reliability ICOSSAR 2013, Columbia University, New York.

[6] Straub D. (2011). Vorlesungsunterlagen: Zuverlässigkeit und Lastannahmen. Fachgebiet Risikoanalyse und Zuverlässigkeit, TU München.

[7] Gemeinde Lenk 2012: Pflichtenheft Einsatzleitung Gletscherseen Plaine Morte Lenk, 27. März 2012.

[8] Risikoplanung – Gemeinde Leuk Illgraben. Dossier 1. Erstellt im Mai 2010.

[9] SBB: D I-B 09/11 (2015).

[10] Commune di Preonzo: Frana di Roscioro – Piano di sicurezza. Aggiornamento Marzo 2011, Allegato 9.1.

[11] Gemeinde Grindelwald 2009: Pflichtenheft Einsatzleitung Gletschersee Grindelwald, Ausgabe 2009, 1. – 24. März 2009.

[12] Kanton St. Gallen (2003): Wegleitung zur Naturgefahrenanalyse. Kapitel 2: Begriff und Grundlagen. Baudepartement/Volkswirtschaftsdepartement St. Gallen. http://www.tiefbau.sg.ch (Letzter Zugriff: 16. Juni 2014).

[13] PLANAT (1997). Wissen – Hochwasser. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. http://www.planat.ch/de/wissen/ueberschwemmung/hochwasser/(Letzter Zugriff: 19. Juni 2014).

88.067 d 07.15