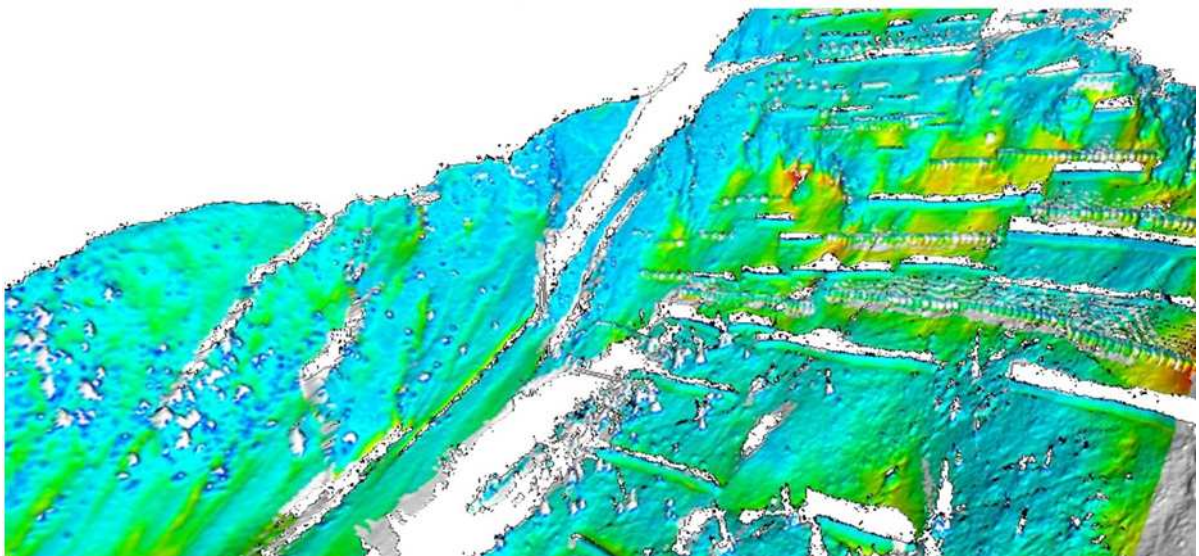


Titel des Projektes RISKCAST

Ein Projekt, finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011
(VIF2011)

10/2012



Schneehöhenzuwachsverteilung Laserscannerstation Thomaseck (alpinfra 2008/2009)

Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Renngasse 5
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

alpinfra consulting + engineering gmbh
Schillerstrasse 25
5020 Salzburg



Programmmanagemen:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Flexibles, modulares Detektions- und Informationsübertragungssystem zur Erfassung und Prognose von Naturgefahrenprozessen

RISKCAST

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2011)

Autoren:

Ing. Mag. Manfred SCHEIKL (alpinfra)
Dipl.-Ing. Anton Henle (alpinfra)
Mag. Peter Siebler (alpinfra)
Mag. Steffan Eisenbach (UBIMET)

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
ÖBB-Infrastruktur AG
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer / Konsortium:

alpinfra consulting + engineering gmbh, Schillerstrasse 25, 5020 Salzburg
UBIMET GmbH, Dresdner Straße 82, A 1200 Wien

1	Projektinitiative, Ausgangslage und Zielsetzung.....	8
1.1	Projektinitiative	8
1.2	Ausgangslage	8
1.3	Ziele.....	8
2	Beschreibung des Prototypen.....	10
2.1	Generelles.....	10
2.2	Zusammenstellung des mobilen Detektionssystems	10
2.2.1	Datenerfassung und Kommunikation	10
2.2.1.1	Daten-, Mess- und Alarmbox	11
2.2.1.1.1	Technische Daten	12
2.2.1.1.2	Funktionen	12
2.2.1.1.3	Kommunikation u. a. zum Infrastrukturbetreiber	12
2.2.2	Sensoren.....	13
2.3	Systemebenen	15
2.3.1	Alarmebene.....	15
2.3.2	Service, Fernerkundungs- und Prognoseebene	16
2.4	Datenakquisition und Datenübermittlung.....	16
2.4.1	Datenakquisition Vor-Ort	17
2.4.2	Sensorgruppen.....	20
2.4.2.1	Murdetektion	20
2.4.2.2	Steinschlagdetektion	20
2.4.2.3	Bewegungsdetektion Instabile Hänge	20
2.4.2.4	Wetterdaten aus Fernerkundung und Prognosen.....	21
2.4.3	Optionale Sensorgruppen.....	21
2.4.3.1	Optionale Wetterstation	21
2.4.3.2	Optionale Sensorgruppe Lawine.....	21
2.5	Zentrale Datenerfassung und Visualisierung.....	22
2.5.1	Generelle Beschreibung	22
2.5.2	Datenbank.....	25
2.5.3	Visualisierung.....	25
3	Sensorenpool und Bewertung.....	33
3.1	Generelles.....	33
3.2	Sensorgruppe Murdetektor	33
3.2.1	Geophon und Bewegungstags.....	34
3.2.1.1	Beschreibung	34
3.2.1.2	Kosten.....	35
3.2.1.3	Bewertung.....	35

3.2.2	Radarpegel	35
3.2.2.1	Beschreibung	35
3.2.2.2	Kosten.....	36
3.2.2.3	Bewertung.....	36
3.2.3	Videokamera und Ton	36
3.2.3.1	Beschreibung	36
3.2.3.2	Kosten.....	37
3.2.3.3	Bewertung.....	37
3.2.4	Geschwindigkeitsradar als kleine Dopplerradarzellen.....	38
3.2.4.1	Beschreibung	38
3.2.4.2	Kosten.....	39
3.2.4.3	Bewertung.....	39
3.2.5	Kippschalter	39
3.2.5.1	Kosten.....	39
3.2.5.2	Bewertung.....	39
3.3	Sensorgruppe Detektor Instabile Hänge	40
3.3.1	Faseroptisches Raman/Brillouin-Kabel	40
3.3.1.1	Beschreibung	40
3.3.1.2	Kosten.....	46
3.3.1.3	Bewertung.....	46
3.3.2	Rissmessgerät	47
3.3.2.1	Beschreibung	47
3.3.2.2	Kosten.....	48
3.3.2.3	Bewertung.....	48
3.3.3	Reißdraht	48
3.3.3.1	Beschreibung	48
3.3.3.2	Kosten.....	49
3.3.3.3	Bewertung.....	49
3.3.4	Video.....	49
3.4	Sensorgruppe Steinschlagdetektor	49
3.4.1	Erschütterungs- und Bewegungsmessung.....	50
3.4.1.1	Beschreibung	50
3.4.1.2	Kosten.....	51
3.4.1.3	Bewertung.....	51
3.4.2	Richtmikrophon	51
3.4.2.1	Beschreibung	51
3.4.2.2	Kosten.....	52

3.4.2.3	Bewertung.....	52
3.4.3	Video.....	52
3.5	Übergeordnete Wetterdaten, Fernerkundung und Prognose	53
3.5.1	Beschreibung	53
3.5.1.1	Weterradar	53
3.5.1.2	Numerische Wetterprognosen	54
3.5.1.3	Konzept der meteorologischen Datenerfassung.....	55
3.5.2	Kosten.....	56
3.5.3	Bewertung.....	56
3.6	Optionale Sensorgruppen mittelfristiger Aufbau	57
3.6.1	Lawinendetektor.....	57
3.6.1.1	Beschreibung	57
3.6.1.2	Kosten.....	57
3.6.1.3	Bewertung.....	58
3.6.2	Optionale Sensorgruppe Wetterstation	58
3.6.2.1	Beschreibung	58
3.6.2.1.1	Temperatur	58
3.6.2.1.2	Luftfeuchtigkeit	59
3.6.2.1.3	Wind.....	59
3.6.2.1.4	Niederschlag	59
3.6.2.1.5	Schneehöhe	60
3.6.2.1.5.1	Ultraschallpegel.....	60
3.6.2.1.5.2	Lasermesspegel.....	60
3.6.2.1.5.3	Flächendeckende Schneehöhenmessung, Laserscanner.....	60
3.6.2.2	Kosten.....	61
3.6.2.2.1	Mobile Wetterstation.....	61
3.6.2.2.2	Flächendeckende Schneehöhenmessung	61
3.6.2.3	Bewertung.....	61
3.6.2.3.1	Wetterstation mobil.....	61
3.6.2.3.2	Flächendeckende Schneehöhenmessung	62
4	Datenerfassung, Datenübertragung, versorgung.....	63
4.1	Energieversorgung	63
4.2	Datenerfassung und Datenübermittlung.....	63
4.3	Datenfluss zum Infrastrukturbetreiber	64
4.4	Datenfluss für Meteodaten zum Detektionssystem.....	64
4.5	Datensammler	64
4.6	Kosten.....	65

5	Randbedingungen, relevante Messgrößen.....	66
5.1	Charakterisierung des Gefahrenprozesses.....	66
5.2	Relevante Messgrößen.....	66
5.2.1	Muren.....	66
5.2.2	Sturzprozesse, Steinschlag und Felsstürze.....	68
5.2.3	Lawinen.....	69
5.2.4	Hangdeformationen.....	70
6	analyse zum Stand der Entwicklung.....	72
6.1	Sturzprozesse.....	72
6.2	Muren.....	73
6.2.1	Prozessanalyse und Modellierung.....	73
6.2.2	Stand der Technik, Detektion.....	73
6.2.2.1	Unmittelbare Detektion an gefährdeten Objekten.....	73
6.2.2.2	Detektion im Gefahrenbereich.....	74
6.2.2.3	Berücksichtigung von Abflusscharakteristika.....	75
6.3	Lawinen.....	76
6.3.1	Prozessanalyse und Modellierung.....	76
6.3.2	Detektion von Lawinen.....	76
6.4	Instabile Hänge und Steinschlag.....	76
6.4.1	Charakterisierung.....	76
6.4.2	Detektion.....	76
7	Kostenübersicht.....	79
7.1	Hardwarepool und Einsatzspektrum.....	79
7.2	Sensorgruppe Wetterstation.....	81
8	Literaturliste.....	82
8.1	Lawinen, Muren, Rutschungen und Großmassenbewegungen.....	82
8.2	Sturzprozesse.....	96
8.3	Webapplikationen.....	101
9	Verzeichnisse.....	103
9.1	Abbildungsverzeichnis.....	103
9.2	Tabellenverzeichnis.....	104

1 PROJEKTINITIATIVE, AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

1.1 Projektinitiative

Im Rahmen der Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011 (VIF2011) wurde die Entwicklung eines Systems zur „Detektion von Naturgefahren“ ausgeschrieben. Das Konsortium **alpinfra** als Leadpartner und **UBIMET** als Konsortialpartner, haben sich mit der Idee, des in der gegenständlichen Machbarkeitsstudie dargestellten Systems **RISKCAST**, beworben. Das Konsortium wurde seitens der Auftraggeber, dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie bzw. der ÖBB-Infrastruktur AG und der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, vertreten durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft – FFG, mit dem ersten Teil des Projektes, einer Machbarkeitsstudie beauftragt.

1.2 Ausgangslage

Infrastrukturbetreiber sind für die sichere und zuverlässige Bereitstellung der Infrastruktur verantwortlich. Einwirkungsereignisse aus Naturgefahren an Verkehrsinfrastrukturen führen wiederkehrend zu Schäden und zur Beeinträchtigung von Fahrgästen bzw. zur Transportunterbrechung. Im Kontext mit dem in jedem Fall mittelfristig zu erwartenden Anstieg der Jahresmitteltemperaturen aufgrund klimatischer Änderungen, wird der Aspekt der extremen Wetterereignisse an Bedeutung zunehmen. Dies wird sich aller Voraussicht nach auch in einer höheren Frequenz von Naturgefahrenereignissen widerspiegeln. Dieser Aspekt steht in einem massiven Spannungsfeld mit dem zunehmenden Anspruch an die zuverlässige Verfügbarkeit von Straßen-, Schienen- und Energieinfrastruktur. Nationale und gleichsam internationale Personen- und Güterverkehrsgesellschaften sind ihren Kunden gegenüber zur Zuverlässigkeit verpflichtet.

1.3 Ziele

Ziel der Entwicklung ist, robuste, leistungsfähige und kompakte messtechnische Entwicklungen außerhalb des Themenkomplexes Naturgefahren, sowie spezifische Detektionsmethoden, die im Zuge vergangener Naturgefahrenereignisse im alpinen Raum bereits entwickelt wurden, zu kombinieren und mittels eines dezentralen bzw. lokalen Datenerfassungs- und Datenübertragungssystems an das Kommunikations- und Leitsystem der Infrastrukturbetreiber anzubinden. Außerdem sollen meteorologische Daten, gewonnen aus lokalen Messungen oder Fernerkundungssystemen eine bessere Erfassung

der Zustände des Gefahrenzugangssystems ermöglichen und darüber hinaus Gefahrenprognosen unterstützen. Die laufende Funktionskontrolle der lokalen Detektionseinheit sowie die Übertragung von Fernerkundungsdaten an das System werden mittels einer zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungseinheit realisiert. Darauf haben alle betrauten Experten und Entscheidungsträger zugriff. Das System wird als Expertenunterstützung entwickelt.

2 BESCHREIBUNG DES PROTOTYPEN

2.1 Generelles

Das zur Entwicklung vorgeschlagene und als technisch und wirtschaftlich machbar geprüfte Detektionssystem soll folgendermaßen konzipiert werden bzw. wurde folgende grundsätzliche Ausrichtung im Zuge der Machbarkeitsstudie hinsichtlich der Erfordernisse abgeleitet aus entsprechenden Prozess- und Einwirkungsanalysen geprüft und näher spezifiziert:

- (a) Verwendung bestehender und tauglichen Komponenten aus dem Bereich Naturgefahren detektion, Informationsübermittlung und Gefahrenbeurteilung.
- (b) Anbindung von innovativer ergänzender Sensorik.
Berücksichtigung meteorologischer Daten, als Grundlage für eine orts- und prozessspezifische Gefahrenprognose.

Der Infrastrukturbetreiber soll mit folgenden wesentlichen Informationen versorgt werden:

- (a) Ist die Infrastruktur sicher durchgängig ja oder nein?
- (b) Für welchen Zeitrahmen ist es absehbar, dass die Infrastruktur frei von Einwirkungen aus Naturgefahren bleibt.
- (c) Für welchen Zeitrahmen ist es absehbar, dass die Infrastruktur von einem Naturgefahrenprozess unterbrochen oder getroffen wird.

2.2 Zusammenstellung des mobilen Detektionssystems

2.2.1 Datenerfassung und Kommunikation

Das mobile einsatzbereite Detektionssystem besteht aus folgenden Teilen:

- (a) Aluminium- oder Kunststoffbox beinhaltend alle Sensoren des Basissensorpools sowie Solarpaneele bzw. Windrad zur Entnahme für den jeweiligen Messzweck.
- (b) Aluminium- oder Kunststoffbox beinhaltend Montage- und Hilfsmaterial, Lampen für Nachteinsätze, Montagewerkzeug u.dgl.
- (c) Mess- und Alarmbox aus Aluminium oder Kunststoff, die den Datenlogger samt Alarmrelais, die Datenübertragungseinheit sowie ein Eingabeterminal (Hutschienen-PC samt Touchscreen) und die wetterfesten bzw. wasserdichtem Kabeldurchführungen für die Dateneingänge sowie eine Datenantenne aufweist. Ein entsprechender Prototyp wurde bereits für den Betrieb einer Ferngesteuerten Laserscannerstation im Zuge des Projektes MONITOR von alpinfra entwickelt. Weitere Lösungen sind am Markt erhältlich, welche für das angebotene System um Einsatz kommen sollen.



Abbildung 1: Messbox mit Touchscreen, Innenleben Datenerfassung, Verarbeitung, Alarmierung

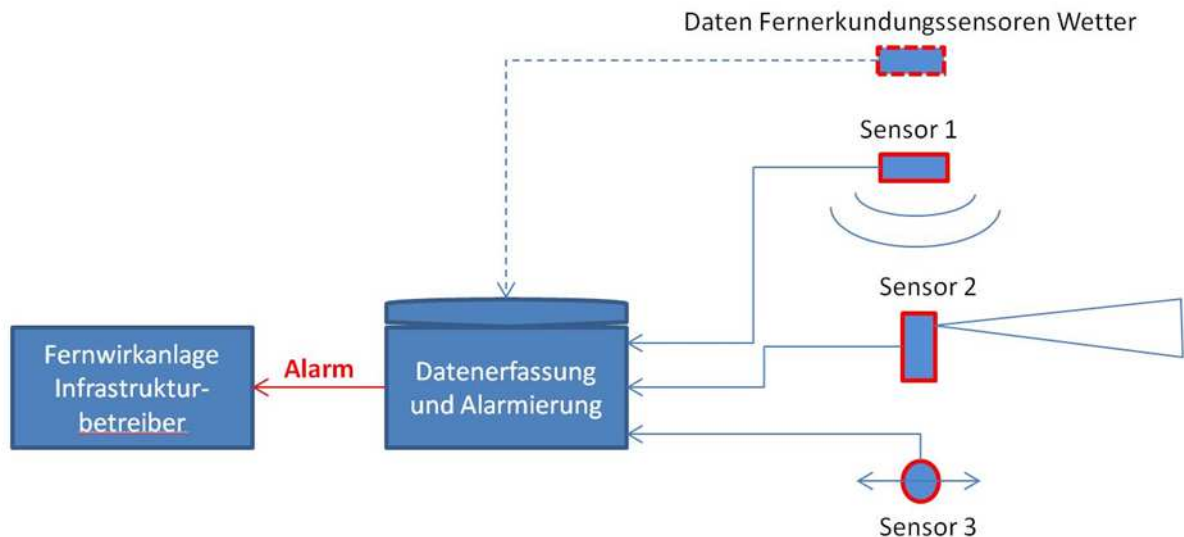


Abbildung 2: Anordnung der Messdatenerfassung und Alarmkette

2.2.1.1 Daten-, Mess- und Alarmbox

Die Marktrecherche hat ergeben, dass der Aufbau einer kompletten neuen Datenerfassungs- und Kommunikationseinheit aufgrund der guten Verfügbarkeit bereits fertiger Systeme nicht sinnvoll und unwirtschaftlich erscheint.

Für das gegenständliche Projekt werden verfügbare Lösungen transportabel gemacht, sprich in ein leichtes, tragbares und wasserdichtes Polyamid-Verbundgehäuse eingebaut.

Folgende Merkmale sind für die „kompakte und mobile“ sowie individuell konfigurierbare Messanlage anzugeben:

2.2.1.1.1 Technische Daten

- (a) Digitale Eingänge: 2 x RS485, 2 x RS232
- (b) Analoge Eingänge: Multiplexer
- (c) Controller
- (d) Digitale Ausgänge: 6 x I/O
- (e) Messkanäle bis: 1.000
- (f) Messprogramme: 20
- (g) Messfrequenz: 40 Hz
- (h) Meldungen im Ringspeicher: 1.000
- (i) Messwerte im Ringspeicher: 4.000.000
- (j) Versorgung: Solar/Akku/Windrad oder bei Verfügbarkeit AC 240V

2.2.1.1.2 Funktionen

- (a) Gleitende Mittelwertbetrachtung
- (b) Filterfunktionen
- (c) Medianberechnung
- (d) Differenzierung von Wertänderungen
- (e) Automatische Kompensation
- (f) Messwertberechnung
- (g) Messwertverknüpfung
- (h) Kaskadierbare Formeln
- (i) Redundanzabgleiche über logische Verknüpfungen
- (j) Programmierbare Aktionen
- (k) Kombinationsalarme für bis zu 50 Gruppen
- (l) 3-Stufen Grenzwertbeobachtung

2.2.1.1.3 Kommunikation u. a. zum Infrastrukturbetreiber

Kommunikationswege: LAN, GPRS/UMTS, GSM, Analog, ISDN, USB Ready

Im Kommunikationsmodul ist die Einbindung eines FunkUMTS-Moduls bereits realisiert und diese bedient die Alarmmeldungen sowie die laufende Datenübertragung auf den seitens der ÖBB angegebenen zwei Ebenen, Ebene 1: Warn bzw. Alarmebene, Ebene 2: Messdatenübertragung zur ÖBB.

2.2.2 Sensoren

Folgender Sensoren-Pool ist als Grundausrüstung für die Erfassung der relevanten Gefahrenprozesse vorgesehen:

Tabelle 1: Übersicht generelle Sensoren und deren Einsatzmöglichkeit

Hardwarepool insgesamt (für einen Prototyp flexibel einsetzbar)		
Sensor	Parameter	Auflösung
Bewegungs- bzw. Erschütterungstags	Bewegung/ Erschütterung	ja/nein
Datensammler und Datenübertragung Erschütterungstags	Daten	-
Dopplerradarkleinzellen	Fließ-geschwindigkeit	cm/s
Faseroptisches Kabel inkl. Befestigungen	Deformation, Temperatur	mm
Laserquelle und Messgerät	Deformation, Temperatur	mm
Funkdatenlogger	Daten	-
Geophon	Beschleunigung	ja/nein
IR-Video	visuelle Information	ja/nein
Radarpegel mit Montagemittel	Fließhöhe und Höhenänderung	cm/s
Reißdraht	Deformation	Ja/nein
Rissmessgerät	Öffnungsweite	mm
Datenerfassung dezentral und Übertragung zu Alarmeinheit	Daten	-
Detektions- und Alarmeinheit inkl. Versorgung und Datenübermittlungs- modul	Daten/Alarm	-
Dezentrale Versorgung der Sensoren	Energie	-
Einbindung in zentrale Datenerfassung und Visualisierung	Daten, Service, Onlineinfo, Visualisierung	-

Optionale Sensorik		
Sensor	Parameter	Auflösung
<i>Optional Dopplerradar Lawine</i>	<i>Lawinenereignisse</i>	<i>ja/nein</i>
<i>Optional Wetterstation</i>	<i>Schneehöhen- und Niederschlagssummen</i>	<i>mm/min</i>
	<i>Niederschlagsmengen</i>	<i>0,1mm</i>
	<i>Temperatur</i>	<i>0,1°C</i>
<i>Lichtschranken und induktionsschleifen</i>	<i>Alarmausschluss von Fahrzeugen</i>	<i>Ja/nein</i>

2.3 Systemebenen

Das vorgesehene System soll aus einer hinsichtlich der Funktionalität und Energieversorgung autarken vor-Orteinheit bestehen, welche die Messaufgaben und Alarmierung vornimmt. Um das System mit „externen Daten“ aus meteorologischer Fernerkundung und Prognose versorgen zu können und um einen laufenden Einblick in die aktuelle Situation zu gewährleisten, soll auf Serviceebene eine zentrale Datenerfassungs- und Visualisierungseinheit (WEB-Applikation) zum Einsatz kommen.

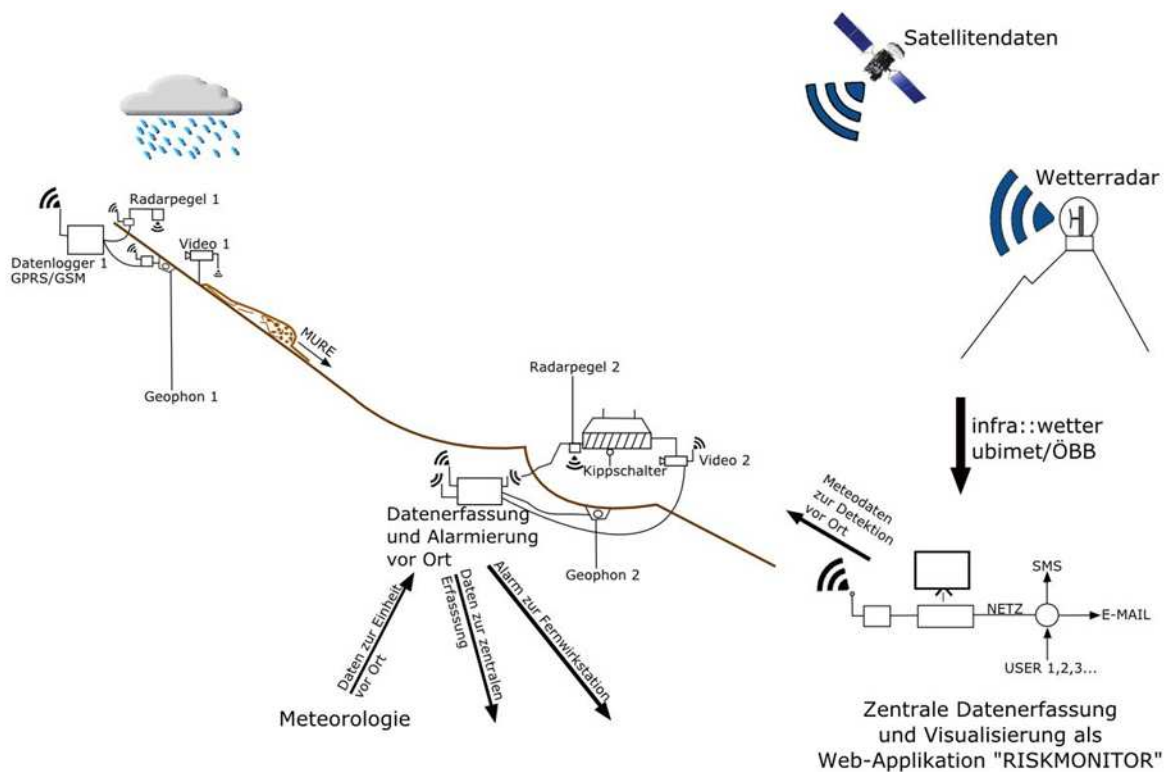


Abbildung 3: Skizze zu Mess-, Alarm- und Serviceebene am Beispiel Murdetektion

2.3.1 Alarmebene

Das Detektionssystem vor Ort unter Einbindung der Sensoren vor Ort wird auf der Warn- und Alarmebene betrieben. Die Kommunikation mit der Fernwirkanlage des Infrastrukturbetreibers wird über diese Ebene bedient.

2.3.2 Service, Fernerkundungs- und Prognoseebene

Das Vor-Ort-Detektionssystem wird in eine zweite Ebene, eine Visualisierungs-, Prognose- und Wartungsebene eingebunden. Diese wird mit einem zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungssystem auf WEB-GIS Basis realisiert. Meteorologische Daten aus Fernerkundung im Sinne eines „Fernerkundungssensors“ werden über dieses System an das vor-Ort-System auf Alarmebene weitergereicht. Den technischen Systemverantwortlichen sowie den Entscheidungsträgern des Infrastrukturbetreibers wird über dieses System einen durchgehenden räumlicher Überblick über den aktuellen Gefahrenzustand und über mögliche Gefahrenentwicklungen zur Verfügung gestellt. Die zentrale Datenerfassungseinheit prüft auch laufend ob alle Sensoren aktiv sind oder Fehler vorliegen, worüber es per Email und SMS informiert.

2.4 Datenakquisition und Datenübermittlung

Die Datenakquisition ist primär in bereits als potenziell naturgefahrenrelevant identifizierten Gefahrenereignisgebieten mittels Messungen von Systemzuständen oder Prozessphänomenen (Abflusshöhe, Bodenbewegung, Sturzgeschwindigkeit,...) „vor Ort bzw. on-site“ vorgesehen. Die Feststellung der relevanten Systemzustände bzw. prozessbegleitenden Phänomenen mittels physikalischer Messungen wird als Grundlage für die Ableitung des Gefahrengrades verwendet. Für die Messungen sind ausgewählte robuste Sensoren sowie etablierte autarke Energieversorgungs- und Datenübertragungstechnologien vorgesehen.

Neben den Messungen „am Boden bzw. on-site“ in den Gefahrenereignisgebieten, sollen „übergeordnete“ meteorologische Daten in die Gefahrenfeststellung eingebunden werden.

Als Grundlage für die effektive Detektion von Naturgefahren müssen Informationen zu bekannten Gefahrenstellen und deren Ausprägung im jeweils verfügbaren Maße einbezogen werden (vgl. Kapitel 5.1).

Die gesamten verfügbaren Informationen (a) zur potenziellen Gefahrenstelle bzw. zur Charakteristik der lokal relevanten Gefahrenprozesse (b) aus den Messdaten on-site sowie (b) zur meteorologischen Situation und Entwicklung werden in einem zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungssystem, welches bestmöglich beim Infrastrukturbetreiber betrieben wird, gesammelt. Dieses kann auch zur Ereignisdokumentation eingesetzt werden.

Warnung und Alarmierung erfolgen **in erster Linie vom lokalen Detektionssystem aus**. Das Detektionssystem fasst die Sensorik „vor Ort“ zusammen. Die Kommunikationsfunktion zwischen dem Fernwirksystem des Infrastrukturbetreibers und dem Detektionssystem erfolgt also in erster Linie vom Detektionssystem „vor Ort“ aus.

Die laufenden anfallenden wesentlichen Informationen werden jedoch zwischen dem Vor-Ort-Detektionssystem und dem zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungssystem laufend ausgetauscht. Gleichzeitig werden im Zuge der Informationsupdates die Funktionalitäten des Vor-Ort-Detektionssystem geprüft und ein „0 Strom Alarm“ bei Ausfall eines Sensors oder des gesamten Vor-Ort-Detektionssystem vom zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungssystem aus abgesetzt. Dies erfolgt durch eine SMS-Nachricht sowie Emails an die Systemverantwortlichen und Entscheidungsträger.

Die zentral per Internet zugängliche Visualisierung einzelner oder mehrerer überwachter Gefahrenstellen erfolgt über das zentrale Datenerfassungs- und Visualisierungssystem riskmonitor (alpinfra 2012).

2.4.1 Datenakquisition Vor-Ort

Für die Akquisition der Daten vor Ort, wurden Sensoren ausgewählt, die Gefahrenrelevante Systemzustände und/oder gefahrenbegleitende Phänomene im Gefahreninzugsgebiet hinreichend erfassen können (vgl. Kap. 5). Alle Sensoren können entweder von einer Stromnetzversorgung mit Ausfallssicherung (Akku) oder von einer autarken Stromversorgung auf Basis Solar und/oder Windrad mit Ausfallssicherung gespeist werden. Jeder Sensor wird je nach Möglichkeiten bzw. Gegebenheiten entweder über eine redundante Datenverbindung per GPRS/GSM und/oder Kabel an die dezentrale Datenerfassungs- und Alarmierungseinheit vor Ort angebunden.

Die dezentrale Datenerfassungseinheit (vor Ort) ist darauf ausgerichtet

- (a) die relevanten vor-Ortmessdaten zu sammeln,
- (b) die eingehenden Daten hinsichtlich der gefahrenrelevanten Systemzustände bzw. der Warn- und Alarmstufen zu bewerten,
- (c) die Warn- und Alarmmeldungen zu kritischen Zuständen abzusetzen,
- (d) Warnmeldungen abzugeben, wenn einer der Sensoren keine Daten sendet (NoData-Warnung).

Die Anlage kann als voll funktionsfähiges Detektionssystem vor Ort eingesetzt werden. Eine Anbindung an eine zentrale Datenerfassungs- und Visualisierungseinheit ermöglicht die Einbindung von übergeordneten meteorologischen Daten (Wetterradar, Prognosen). Die gesamte Parametrisierung (Warn und Alarmschwellen) wird lokal über die Eingabe an einem Terminal realisiert. Die Datenverwaltung, Interpretation und Steuerung der Warnung- und Alarmierung per Kabel und/oder GPRS/GSM zur Fernwirkstation des Infrastrukturbetreibers übernimmt der Datenlogger der die Datenverbindungen aufbaut und der über Kabel und/oder GPRS/GSM für Datenabfragen und Fernwartung auch angesprochen werden kann. Die Parametrisierung wird per Laptop oder lokalem Terminal realisiert.

Darüber hinaus ist das System in Verbindung mit einem zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungssystem in der Lage, gefilterte bzw. bereits interpretierte Daten einer zentralen Datenerfassungs- und Visualisierungseinheit zu empfangen und in die laufende Zustandsbewertung des Gefahreninzugsgebietes einbeziehen. Dies betrifft die „übergeordnete Sensorik“ wie z.B. Wetterradar, Luftfeuchte- und Temperaturdaten auf Fernerkundungsbasis und aus Prognosen.

Laufende Funktionskontrolle

Generell können alle Daten, auch Warn- und Alarmzustände sowie generelle Daten wie Strom, Spannung, Temperatur des Gerätes laufend an eine zentrale Datenerfassungseinheit übermittelt werden, um (a) bei Ausfällen das System jederzeit wiederherstellen zu können und (b) bei Totalausfall der Vor-Ort-Detektionsanlage eine Warnung auf dem Weg der zentralen Erfassungseinheit zur Fernwirkstation und zu verantwortlichen des Infrastrukturbetreibers absetzen zu können (parallel SMS/Email/GPRS/GSM).

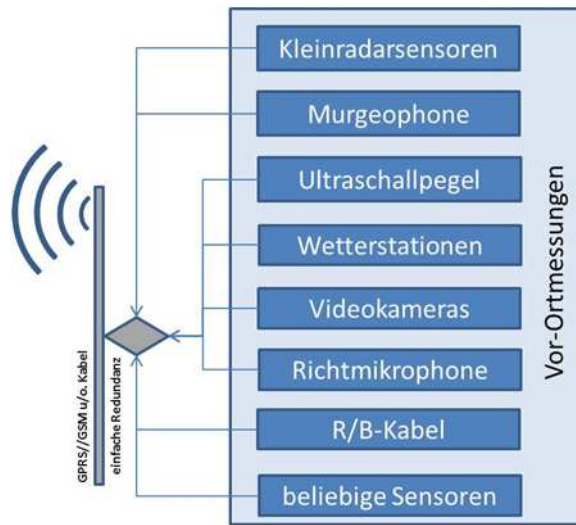


Abbildung 4: Datenfluss Sensoren - dezentrale Datenerfassungs- und Alarmierungseinheit



Abbildung 5: Datenfluss - dezentrale Datenerfassungs- und Alarmierungseinheit

2.4.2 Sensorgruppen

Die Sensoren werden eingehend im Kap. 3 beschrieben und hier grundsätzlich aufgezählt bzw. angeführt. Für die maßgeblichen Aufgaben wurden prozessbezogene Sensorgruppen definiert. Eine Sensorgruppe für die Detektion von Lawinen wurde grundsätzlich definiert und kann aus dem Sensorpool der übrigen Gruppen abgeleitet werden.

2.4.2.1 Murdetektion

Die Sensorengruppe Murdetektion besteht grundsätzlich aus einem Radarpegel zur Messung der Fließhöhe und der Fließhöhenänderung über die Zeit, einem Murgeophon zur Messung der Bodenerschütterung die durch mitgeschleppte Blöcke hervorgerufen werden zur Verwendung an bereits bestehenden Strukturen, Bewegungs- bzw. Erschütterungstags für die dezentrale Verwendung im Falle zahlreicher zu überwachender Gräben, einer IR-Videokamera zur Visualisierung für den Experten sowie kleinen Dopplerradarzellen zur Messung der Fließgeschwindigkeit im Gerinne.

2.4.2.2 Steinschlagdetektion

Die Sensorengruppe Steinschlag besteht grundsätzlich aus den Sensoren Richtmikrophon, Geophon (an Schutznetzen und Fahrweg) sowie ergänzender Sensorik wie Lichtschranken zum Ausschluss von Fahrzeugen die Erschütterungsereignisse hervorrufen.

2.4.2.3 Bewegungsdetektion Instabile Hänge

Die Sensorengruppe instabile Hänge besteht aus den Sensoren Extensometer bzw. Rissmesser, faseroptische Deformationsmessung (Brillouinkabel), Reißdraht sowie dezentrale Bewegungs- und Erschütterungstags, die an relevante Ablösestellen angebracht werden und kabellos über kleinste Bewegungen Auskunft geben.

Der Einsatz von hochauflösenden Spezialgeophonen für die Detektion der beginnenden Bruchbildung von Materialbrücken (Kohäsion) wird für das rasch einzusetzende System nicht vorgesehen. Hier würden hochsensible und hochfrequent messende, mehraxiale Geophone erforderlichlich sein, deren Parametrisierung äußerst anspruchsvoll und Zeitintensiv ist, wie dies das Beispiel der Überwachung der Felsgleitung Spitz gezeigt hat. (Scheikl et. al. 2007).

2.4.2.4 Wetterdaten aus Fernerkundung und Prognosen

Als wesentliche Eingangsgröße für die Abschätzung von Entwicklungen in den Gefahren Einzugsgebieten werden die Daten aus der Informationsplattformen wie z.B. infra::wetter der ÖBB Infrastruktur AG herangezogen.

2.4.3 Optionale Sensorgruppen

Um das Detektionssystem schnell einsetzbar zu halten werden Basiskomponenten definiert, die im Wesentlichen den relevanten Gefahrenprozess erfassen. Diese können um optionale Sensorgruppen erweitert werden, welche im gegenständlichen Kapitel dargestellt werden. Die optionalen Sensoren ermöglichen eine weitere Verbesserung der Gefahrendetektion und können im Bedarfsfall nachinstalliert werden.

2.4.3.1 Optionale Wetterstation

Im Rahmen der Umsetzung des Prototyps kann eine einfach transportable, schnell aufbaubare und energieautarken Wetterstation eingesetzt werden, um die im Testgebiet vorgenommenen Prognosen sowie insbesondere die aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Parameter überprüfen und im Falle kalibrieren zu können.

Folgendes Setup ist vorgesehen:

- Montage der Sensoren an einem zentralen 3-5m hohen Mast und Fertigbetonfundament sowie Sicherung mittels Abspannungen, die mittels Kleinbodenanker oder Kleinfelsanker (Klebebolzen) gesichert werden.
- Windgeschwindigkeitssensor
- Niederschlagsmessung
- Lufttemperatur und Luftfeuchte
- Schneehöhe, Wasserhöhe
- Datenlogger
- GPRS-Einheit

2.4.3.2 Optionale Sensorgruppe Lawine

Die Sensorgruppe Lawine, die in den nachfolgenden Teilen nicht weiter beschrieben wird setzt sich aus Teilen der Sensorgruppe Muren (Geophon), bei Erfordernis einer Wetterstation sowie einem Dopplerradarsensor zusammen.

2.5 Zentrale Datenerfassung und Visualisierung

2.5.1 Generelle Beschreibung

Als zentrale Datenerfassungs- und Visualisierungseinheit wird die auf Open Source Code Basis erstellte WEB-GIS Applikation riskmonitor (alpinfra 2012) herangezogen. Diese erlaubt eine räumliche Darstellung von Gefahren- und Einwirkungsszenarien aus Naturgefahren, welche aus einer innerbetrieblichen Entwicklung bei alpinfra hervorgeht (vgl. Abbildung 6, Abbildung 7). Diese erfüllt folgende Aufgaben:

- Darstellung der räumlichen Lage der Sensoren
- Darstellung der räumlichen Lage des (gefährdeten) Infrastrukturabschnittes
- Darstellung von Ereignisaufzeichnungen samt Informationen dazu, wenn vorhanden
- Interaktiver Aufruf der aktuellen Messdaten sowie der Messdatenhistorie bei Klick auf Sensoren oder Wetterstationen
- Laufende Anzeige der Warn- und Alarmzustände im Bereich der relevanten Infrastrukturabschnitte über ein Ampelfarbensystem

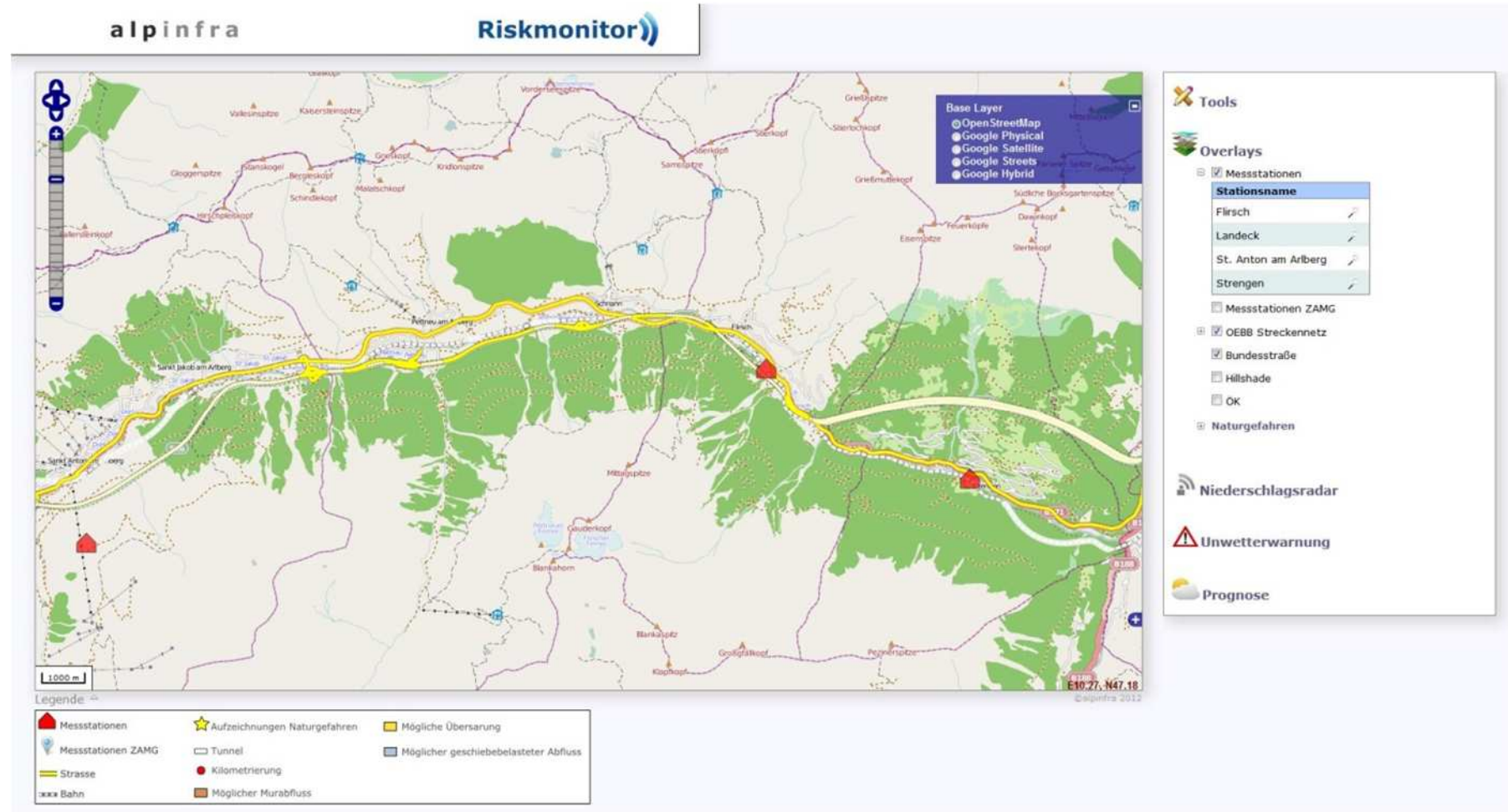


Abbildung 6: Beispielapplikation Naturgefahrenmonitor Stanzertal, Basisoberfläche (alpinfra 2012)

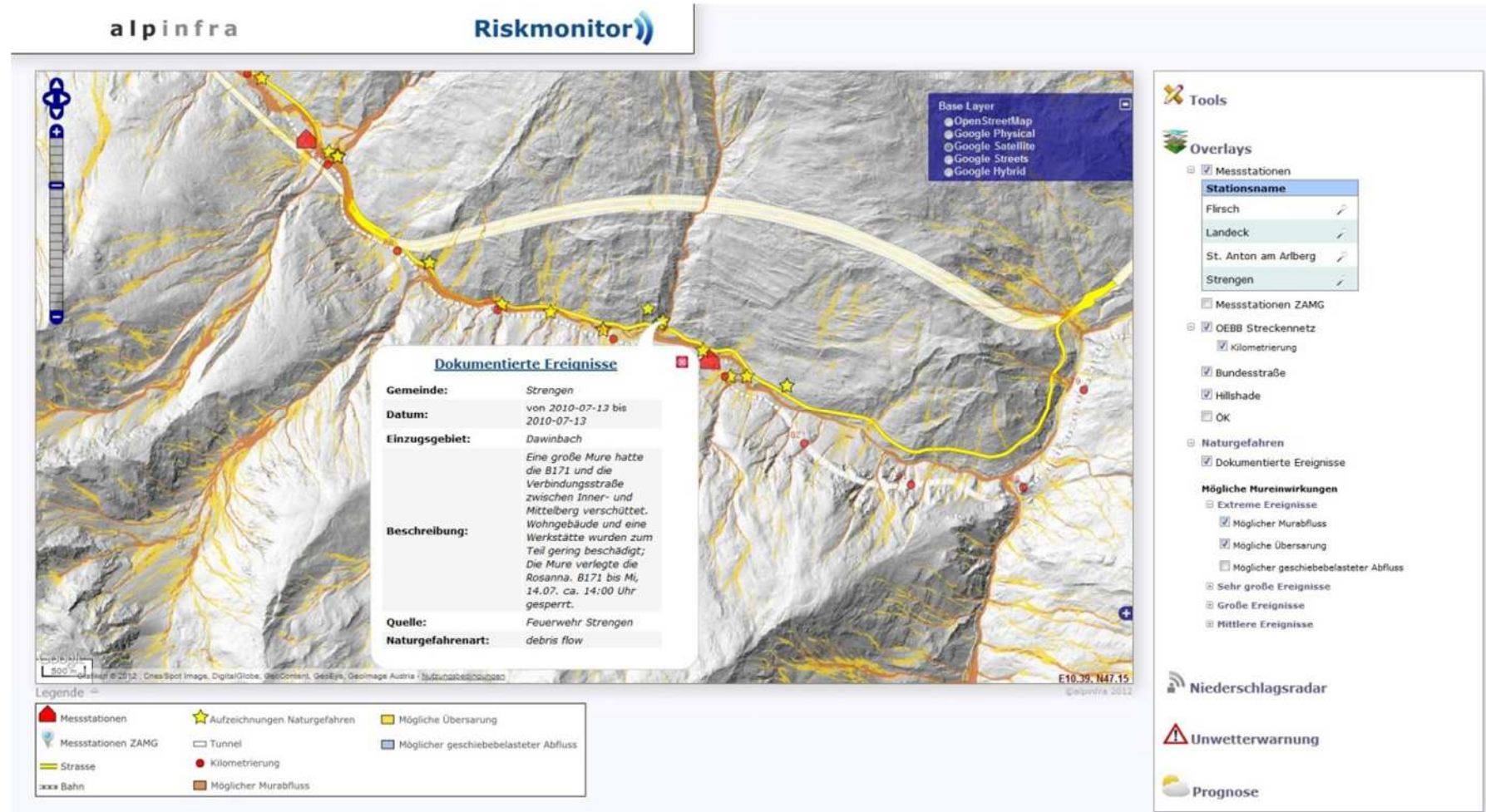


Abbildung 7: Beispielapplikation Naturgefahrenmonitor Stanzertal – Murwarnung

2.5.2 Datenbank

Die Datenspeicherung erfolgt mithilfe der frei verfügbaren objektrelationalen Datenbank PostgreSQL. Dabei werden die vom Wetterdienstleister in fixen Zeitintervallen auf einen FTP Server übermittelten, meteorologischen Daten mithilfe eines PHP Skriptes in ebenso definierten Zeitintervallen automatisch eingelesen und an die Datenbank übertragen. Die Verarbeitung der Daten erfolgt aus der Datenbank heraus. Um die größtmögliche Effizienz der Datenbank auf lange Sicht zu gewährleisten, wurden Datenredundanzen weitgehend ausgeschlossen und die dritte Normalform der Datenspeicherung umgesetzt.

2.5.3 Visualisierung

Zur Visualisierung der Daten wird auf webbasierte Open Source Technologie zurückgegriffen, wodurch der Nutzer jederzeit und überall mithilfe eines internetfähigen Gerätes und eines Webbrowsers auf die Plattform zugreifen kann, ohne zusätzliche Software installieren zu müssen.

Die Benutzeroberfläche des Programmes besteht im Wesentlichen aus einem topographischen Kartenfenster zur räumlichen Visualisierung sowie einem Teilfenster zur Abfrage und Verwaltung von Daten

Räumliche Visualisierung folgender Inhalte:

- a) Das Kartenfenster beinhaltet einen Kartenviewer, aus dem man aus insgesamt vier Basiskarten zwischen Google Maps und OpenStreetMap sowie aus weiteren topographischer Grundlage, je nach Verfügbarkeit, frei wählen kann und der Standardfunktionen wie Zoom und Pan sowie Flächen und Längenmessung zur Verfügung stellt.
- b) Infrastrukturen und Knotenpunkte wie Abfahrten, Haltestellen, Ausweichrouten, Tunnels und sonstige Verkehrseinrichtungen,
- c) Warn- bzw. Alarmzustandes des Gefahrenabschnittes bezogen auf die Infrastruktur,
- d) Lage, Art der Sensoren, deren aktuelle Funktionalität und deren Warn- bzw. Alarmzustand,

- e) Bei Verfügbarkeit, Ereignispunkte mit Informationen zu vergangenen dokumentierten Ereignissen

Die einzelnen Inhalte sind als interaktive Elemente mit einer Reihe an Hintergrundinformation bzw. den aktuellen Messdaten verbunden, welche per Mausklick visualisiert werden können (vgl. Abbildung 8)

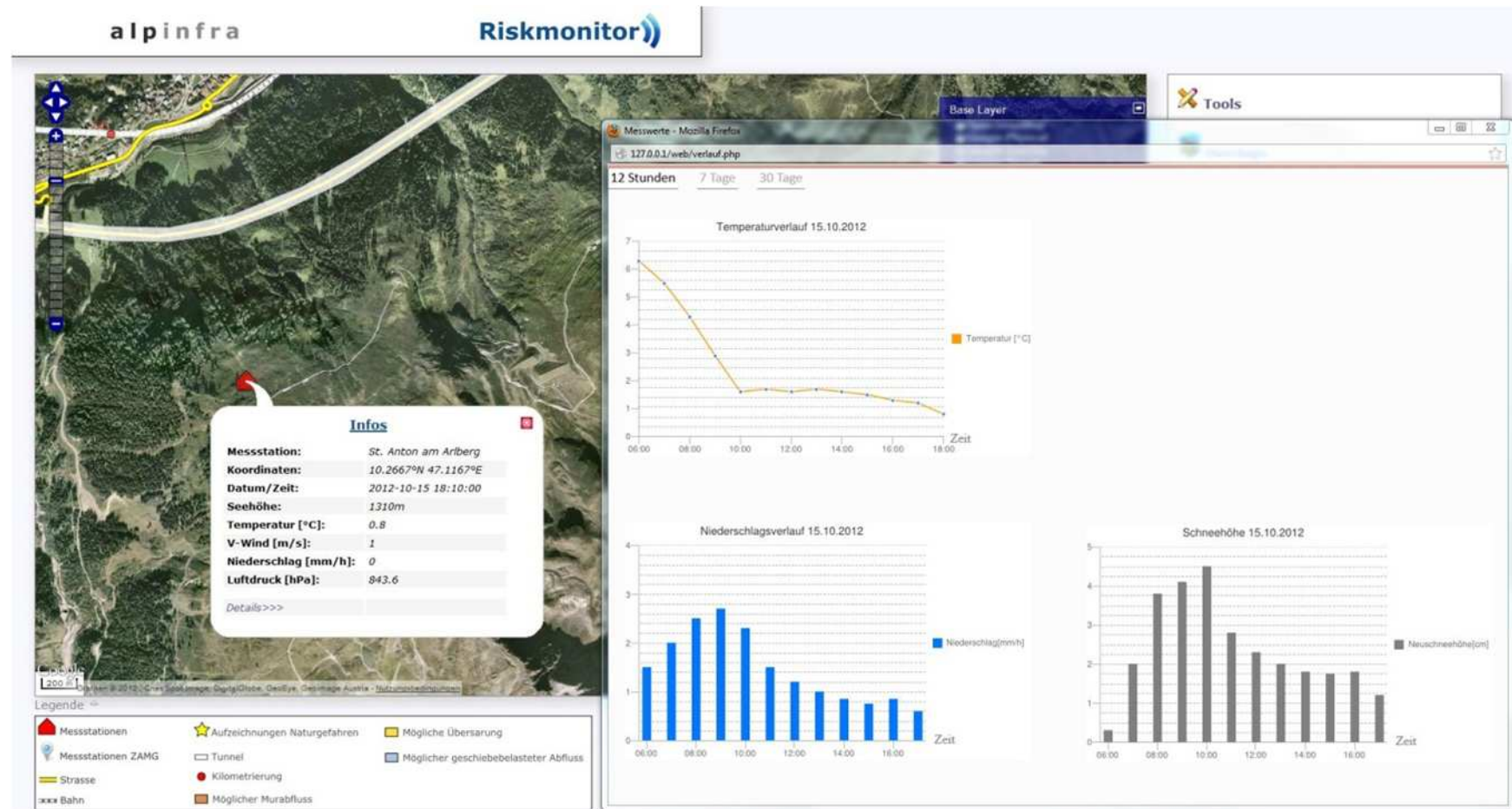


Abbildung 8: Aktivierung der Daten einer Sensorgruppe (Niederschlag + Schneehöhe per Mausklick)

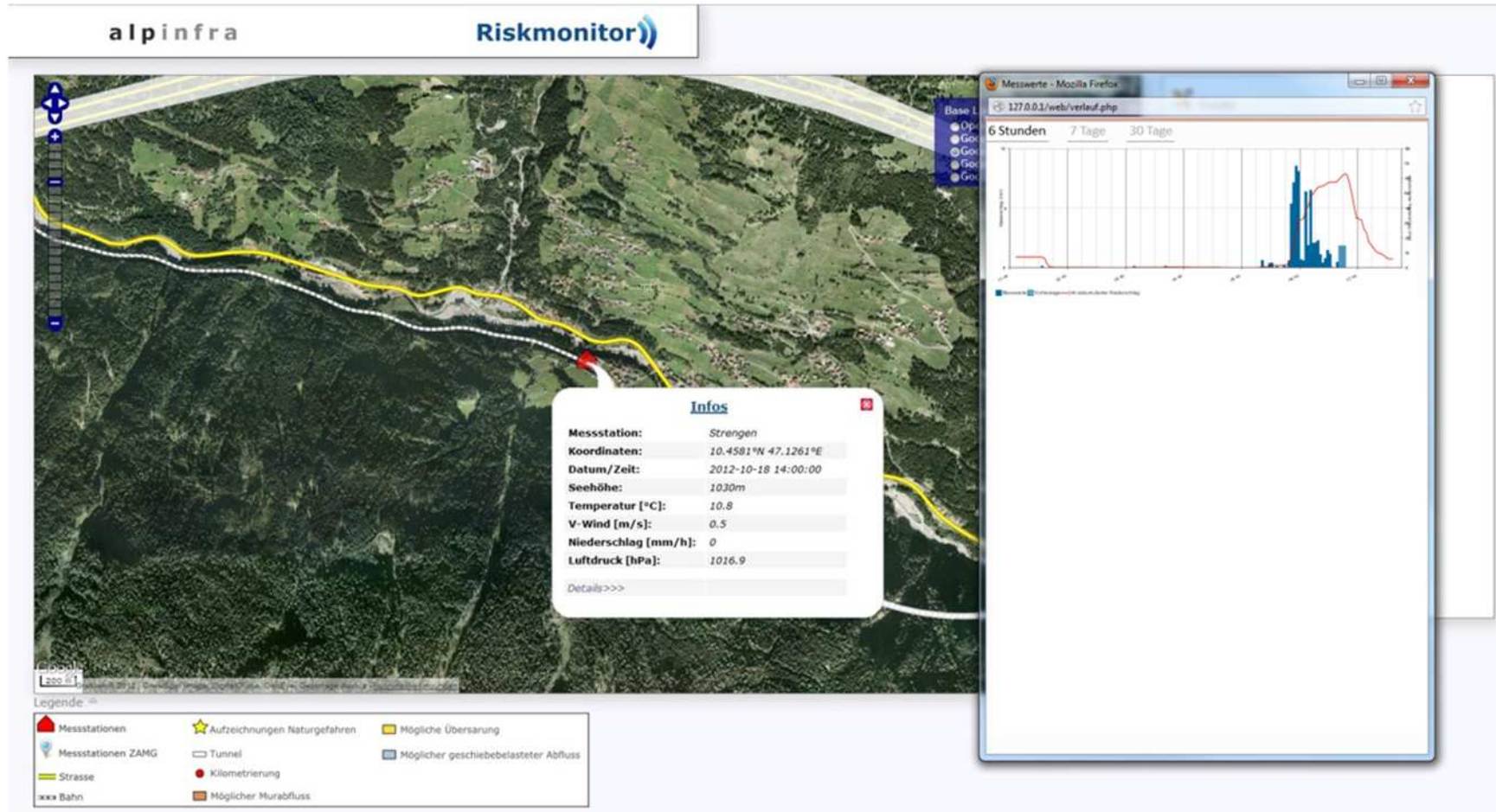


Abbildung 9: Aktivierung der Daten einer Sensorgruppe (hier Schneehöhenstation) per Mausklick

Einbindung der Daten aus INFRA::WETTER der ÖBB, umgesetzt durch UBIMET:

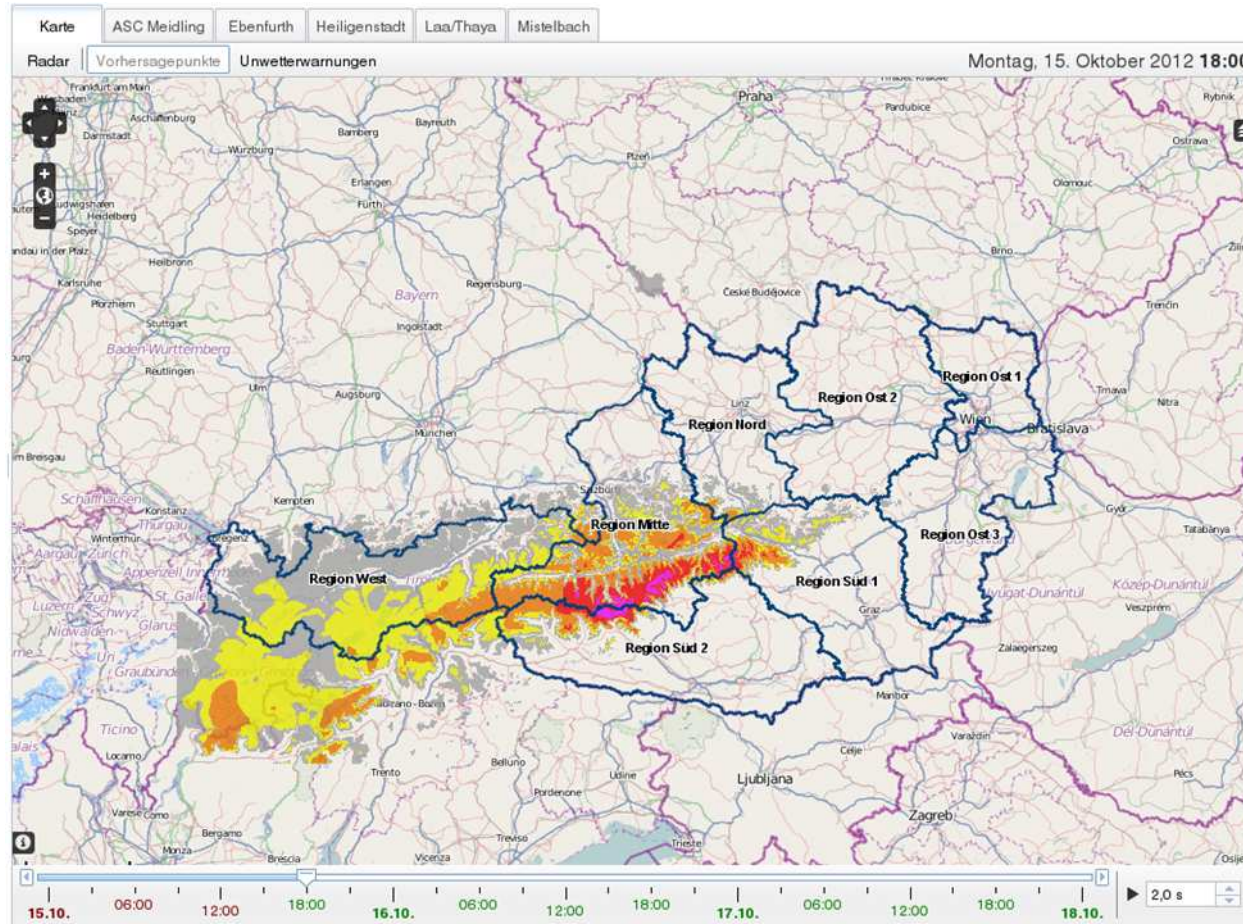


Abbildung 10: Neuschnee prognose infra::wetter / UBIMET

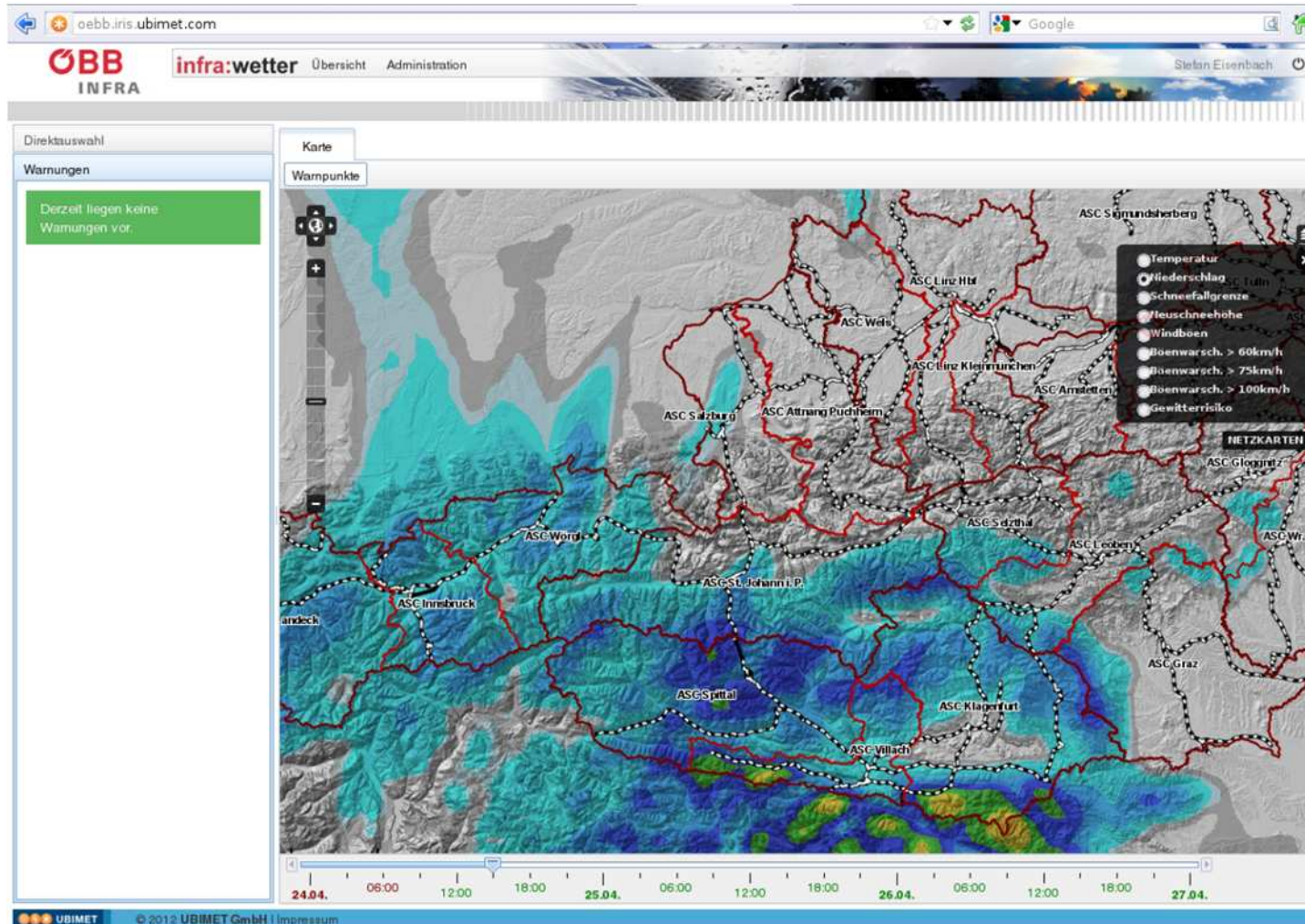


Abbildung 11: Niederschlagsprognose infra:wetter / UBIMET

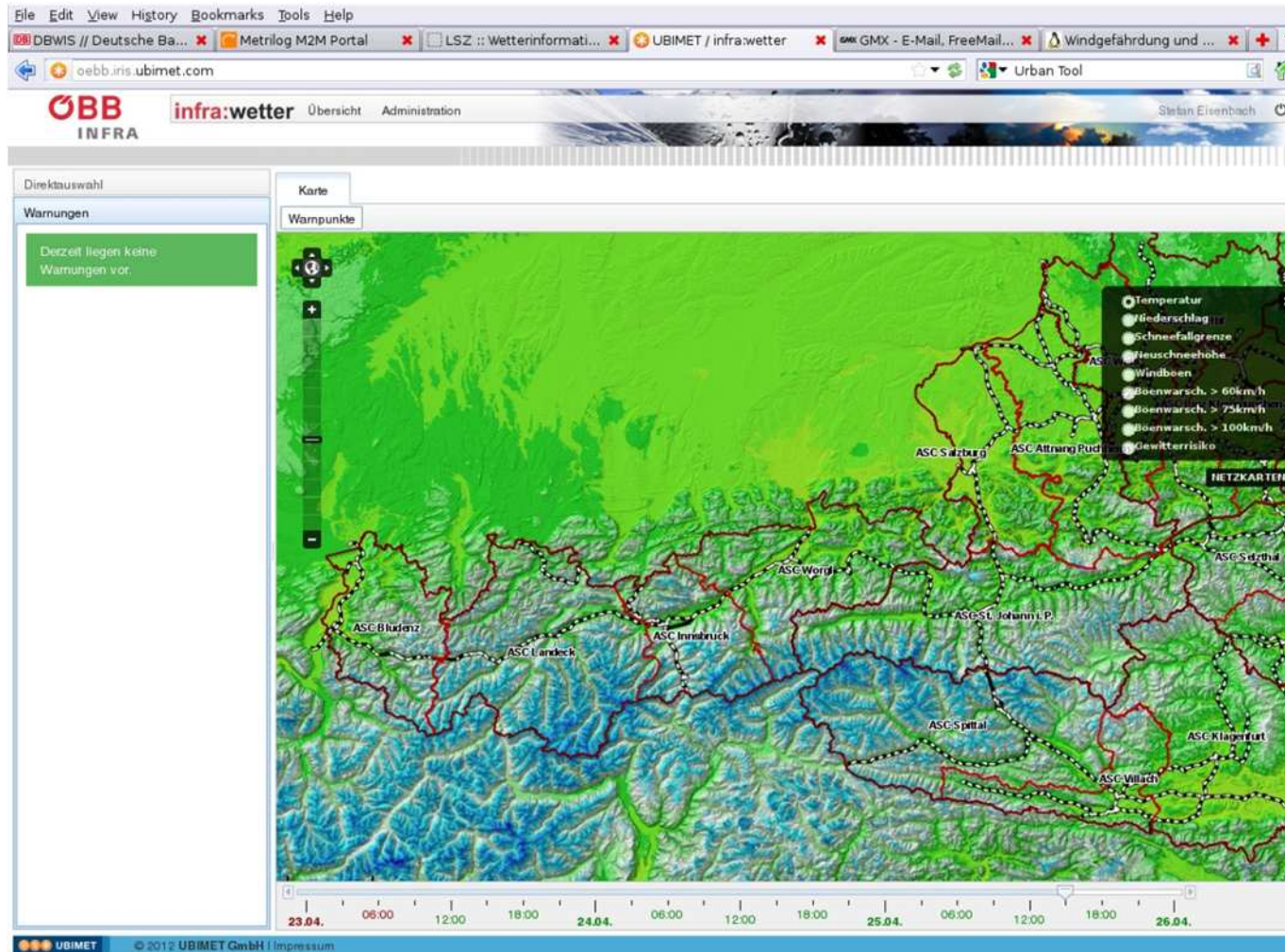


Abbildung 12: Temperaturprognose infra:wetter / UBIMET

Abfrage und Verwaltung von Daten:

Im zweiten Teilfenster kann man zwischen den Menüpunkten (a) Overlays, (b) Detektionssensoren bzw. Messstellen und (c) Meteodaten wählen. Die anwendungsorientierte Anpassung wird laufend und jeweils projektbezogen vorgenommen.

Im Menü Overlays werden die Geodaten mithilfe eines Mapservers auf die Basiskarten projiziert. Die Messstationen des Beobachtungsgebietes werden dabei standardmäßig angezeigt und können zur schnelleren Auffindung auf der Karte über ein Auswahlmenü automatisch angezoomt werden. Durch Anklicken der kartographischen Signatur der Station öffnet sich ein Pop-upfenster, das Informationen zur Messstation und der aktuellen Messwerte aus der Datenbank lädt. Den Verlauf der Messwerte kann man sich in Diagrammen anzeigen lassen, aus denen das darzustellende Messintervall wählbar ist. Neben den Messstationen stehen noch ein Reihe von weiteren Overlays zur Verfügung, die mittels Aktivierung/Deaktivierung von Checkboxen interaktiv in die Karte ein- bzw. ausgeblendet werden können und aus denen zum Teil wiederum per Mausclick auf die entsprechende Kartensignatur, Informationen aus der Datenbank abgefragt werden können. Die Einbindung von weiteren Daten ist frei realisierbar.

3 SENSORENPOOL UND BEWERTUNG

3.1 Generelles

Die in Kap. 3 angeführten Komponenten sind als Teil eines flexibel erweiterbaren Basissystems vorgesehen um die Prozessbereiche Steinschlag/Felssturz, Hangbewegungen in Boden und Fels sowie Muren und Hochwasser aber auch Lawinen hinreichend detektieren und darüber hinaus prognostizieren zu können. Die Komponenten können je nach erforderlicher Messaufgabe aus dem Sensorenpool entnommen bzw. zugekauft und vor Ort implementiert werden. Im Kernsensorpool bzw. der Grundausstattung sind jedoch die im Kap. 0 angeführten Komponenten vorgesehen.

3.2 Sensorgruppe Murdetektor

Die Sensorengruppe „Murdetektor“, für die Messung von Murereignissen an strategisch relevanten Querschnitten im Gefahren Einzugsgebiet, entlang des Murgerinnes sowie unmittelbar am gefährdeten Objekt. besteht aus folgenden Sensoren:

- (a) Kleinen Kabellosen Bewegungs- bzw. Erschütterungstags
- (b) Geophon
- (c) Radarpegel
- (d) kleine Geschwindigkeitsradarzellen
- (e) Videokamera

Unmittelbar am gefährdeten Objekt kommen in der Regel ein Radarpegel, ein kleiner Bewegungs- bzw. Erschütterungstag (optional ein Geophon bei größeren Strukturen) sowie ein Kippschalter zum Einsatz.

Aus der kombinierten Messung der unmittelbaren Murtätigkeit im Einzugsgebiet und am gefährdeten Objekt, sollen die relevanten Situationen im Murgerinne erfasst werden, die eine Detektion des aktuellen Gefahrengrades im Sinne der Ausnutzung des verfügbaren Durchflussprofils am gefährdeten Durchlass, der Entwicklung im Einzugsgebiet und schließlich das Erkennen einer herannahenden Mure ermöglichen.

3.2.1 Geophon und Bewegungstags

3.2.1.1 Beschreibung

Erschütterungsmessungen an Murbelasteten Strukturen oder Gerinnequerschnitten ermöglichen die klare Detektion von Murereignissen. Im Bereich der Infrastruktur sind zum Ausschluss der Detektion von Fahrzeugen parallel Lichtschranken einzusetzen. Induktive Schleifen zum Ausschluss von Fahrzeugen sind im Bereich der Schieneninfrastruktur aufgrund des vorwiegend elektrischen Betriebs der Eisenbahn dort nicht praktikabel.

Bewegungs- und oder Erschütterungsmessungen können mit einfachen Beschleunigungssensoren realisiert werden.

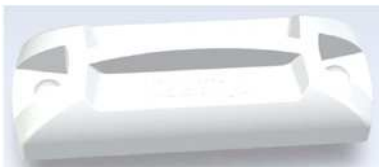


Abbildung 13: Kabelloser günstiger Kleinbewegungssensor (~3x10cm)

Die Anbindung an die Datenerfassungseinheit wird über einen Spannungsausgang der in der Regel Spannungen zwischen 10V/m/s und 20V/m/s liefert (Die Ausgangsspannung verhält sich proportional zur Schwinggeschwindigkeit und entsprechend des Antwortspektrums des Geophons).



Abbildung 14: Mur-, Steinschlag-, Lawinengeophon

Für dezentrale bzw. in der Fläche verteilte Anwendungen sollen Kleinsensoren eingesetzt werden, die Bewegungen bzw. Erschütterungen detektieren und kabellos an die

Detektionseinheit weitermelden, welche dann einen Alarm auslöst. Die Sensoren können an Strukturen angeschraubt oder geklebt bzw. mit Magneten befestigt werden. Das Entfernen löst ebenfalls einen Alarm aus.

3.2.1.2 Kosten

Die Kosten für ein Geophon für diese Aufgabe (mit eingeschränkter Anforderung hinsichtlich Sensitivität und Frequenzbereich) ist mit € 1.200,- je Sensor zu veranschlagen, die idealer Weise je nach Länge des zu beobachtenden Infrastrukturabschnittes stets in der Anzahl zu verbauen sind. Die Montage an den Grundplatten von Schutznetzen erfordert je ein Geophon je Netzreihe. Die Montage der Geophone an Übertragungsplatten die mit dem Gleis verbunden sind, erfordert je zwei Geophone pro Gleis also eines je Schiene.

Die Verwendung von neuen Kleinsensoren reduziert die Kosten je Sensor auf rund € 200,- und ermöglicht eine dichte Austeilung, was grundsätzlich angestrebt wird.

3.2.1.3 Bewertung

Der Einsatz von Erschütterungsmessgeräten stellt eine zunehmend zum Standard werdende Lösung dar um Einwirkungen aus Lawinen, Sprengerfolg für Lawinenauslösung, Muren, Steinschlag und Felsstürzen zu detektieren. Dafür können günstige Sensoren eingesetzt werden, die bis zur Montage als Kleinstgeophone reichen. Diese Möglichkeit soll in jedem Fall genutzt werden um eine Detektion mit hoher räumlicher Dichte zu ermöglichen.

3.2.2 Radarpegel

3.2.2.1 Beschreibung

Ein Radarpegel strahlt eine elektromagnetische Wellen bzw. Wellenimpulse im Frequenzbereich von Mikrowelle mittels einer Radarantenne ab. Diese wird an der darunter liegenden Oberfläche (Wasseroberfläche) reflektiert und diffus zurückgestreut. Ein Radarempfänger wandelt die empfangenen kodierten Impulse in ein Stromsignal um. Über eine Auswertung der Laufzeit lässt sich die Wasserspiegelhöhe mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde sehr präzise bestimmen. Dabei stellt der Zustand der Wasseroberfläche (Schaum) keinen Störfaktor dar.

Der Sensor sendet und empfängt Radarwellen mit einer max. Sendeleistung von < 25 mW im Frequenzbereich von ca. 26 GHz.



Abbildung 15: Radarpegel für Murüberwachung

3.2.2.2 Kosten

Die Kosten für einen Radarpegel vorbereitet mit Spannseilen und Rahmen sowie Stromversorgungs- und Datenkabel ist mit rund € 2.500,- zu veranschlagen.

3.2.2.3 Bewertung

Die Detektion von Wasserspiegellagen und Fließhöhen in Gerinnen kann mittels Radarpegel am einfachsten und weitgehend störungsfrei realisiert werden. Die Abflusshöhenbestimmung mittels Radarpegel stellt die wesentlichste Komponente zur Detektion von Wildbach bzw. Murereignissen dar und kann im Einzugsgebiet als auch am Brücken- bzw. Durchlassobjekt realisiert werden und sehr rasch in Betrieb genommen werden.

3.2.3 Videokamera und Ton

3.2.3.1 Beschreibung

Um keine energieintensiven, ausfallsanfällige und kostspielige Beleuchtungsanlagen begleitend installieren zu müssen, sind Infrarotvideokameras vorgesehen, wie sie unter anderem bereits im Bereich von Wildbachquerungen an den ÖBB-Strecken eingesetzt werden. Die Videokamera wird für die Aufzeichnung von Situationsbildern in festgelegten Intervallen eingesetzt sowie im Falle einer Überschreitung eines Schwellenwertes in den

Aufnahme- und Onlinemodus geschaltet. In letzteren Fall wird an der zentralen Datenerfassungseinheit ein Popupfenster mit Video- und Tonverbindung aktiviert.



Abbildung 16: handelsübliche IR-Videoüberwachungskamera mit Ton

3.2.3.2 Kosten

Die Kosten für eine IR-Videokamera inkl. Anbindung an das Datenerfassungssystem sind mit rund € 500,- bis 1.500,- zu veranschlagen.

3.2.3.3 Bewertung

Die ergänzende Beurteilung von Gefahrenstellen, für die ein Alarm ausgelöst wurde, ist sowohl für den Fall eines tatsächlichen stattfindenden Ereignisfall bedeutend als auch für die Identifikation eines Fehlalarms.

Im Falle eines positiv richtigen Alarms ist die Analyse des Prozessgeschehens und für die korrekte Dokumentation des Vorfalls von wesentlicher Bedeutung. Außerdem können nachfolgende Systemverbesserungen durchgeführt werden, wie etwa die Anpassung der Alarmschwelle für Fließhöhe und/oder Bodenerschütterungen.



Abbildung 17: Standbild der Murüberwachungsanlage Illgraben (Quelle WSL),

3.2.4 Geschwindigkeitsradar als kleine Dopplerradarzellen

3.2.4.1 Beschreibung

Die vorgesehenen Dopplerradarzellen erlauben eine genaue Messung der wahren Geschwindigkeit des passierenden Murstroms/Fluids um daraus die verbleibende Zeit bis zum Eintreffen der Mure am relevanten Querschnitt ableiten und die generelle Dynamik und Relevanz des aktuellen Ereignisses zu detektieren. Die lokale Messdatenerfassungseinheit wird mit Grenzggeschwindigkeiten programmiert, die den Gefahrengrad aus den jeweils aktuell gemessenen Fließgeschwindigkeit zugeordnet sind bzw. umgekehrt. Als Grundlage werden kalibrierte murdynamische Berechnungen zugrunde gelegt (vgl. Abbildung 34, Beispiel für murdynamische Berechnung)



Abbildung 18: Dopplerradarmesszelle sowie Impulsmessgerät - Murgeschwindigkeit

Der Radarsensor liefert die relative Geschwindigkeit zwischen dem sich vorbeibewegenden Medium und dem Sensor, zur Verwendung in Überwachungs-, Steuer-, Regel- und Aufzeichnungssystemen. Der Sensor sendet schwache Mikrowellen (Radar) aus und misst die Frequenzverschiebung bei den empfangenen Reflexionen (Doppler-Effekt). Aus dieser Frequenzverschiebung wird die Geschwindigkeit errechnet. Die Messzellen werden über einen Impulsausgang oder eine RS232 an die Datenerfassungseinheit eingebunden.

Die Messzellen werden im Bereich des Messquerschnittes verhältnismäßig nah am Murgerinne, in möglichst geschützten Bereichen oder kleinen Galgen montiert und zwar stets redundant in Zweierpaaren, links und rechts des Gerinnes.

3.2.4.2 Kosten

Die Kosten je Sensor belaufen sich gem. Angebot Hersteller auf € 495,- je Sensor sowie rund € 300,- für das Messgerät mit Impulseingang, welches einen entsprechenden Stromausgang aufweist.

3.2.4.3 Bewertung

Der Einsatz kleiner innovativer Sensoren mit verhältnismäßig geringen Kosten stellt ein grundsätzliches Bestreben im Zuge der Entwicklung des Systems dar, um auf lange Sicht teure etablierte Sensoren ersetzen zu können. Aufgrund der verhältnismäßig geringen Kosten und einfachen Installation können die kleinen Sensoren nahe an den engeren Prozessraum gebracht und im Falle geopfert werden.

3.2.5 Kippschalter

Die Realisierung eines Kippschalters als Notalarms, im Falle der Überschreitung einer maximal zulässigen Fließhöhe an relevanten Querschnitten wird mittels Sicherheitsend- bzw. Seilzugschalters und rückgespannter Kippplatte (Auslöseplatte) realisiert. Der Schalter wird „von der Stange“ zugekauft und konnte bereits ähnlich im Alarmnetz im Bereich des Felssturzes Spitz verbaut werden (Projektierung alpinfra 2005/2006).

3.2.5.1 Kosten

Die Kosten für einen Kippschalter belaufen sich samt Herstellung der erforderlichen Mechanik und Sicherheitsendschalter auf rund € 550,- je Schalter.

3.2.5.2 Bewertung

Ein Kippschalter ist ebenso wie ein Reißdraht, der eine ähnliche Funktion aufweist als letzte Instanz für die Auslösung eines Alarms als günstiges und robustes Instrument anzusehen und in jedem Fall in den Sensorpool aufzunehmen.

Generell soll die Strategie verfolgt werden, zuerst die einfach zu interpretierenden, schnell zu installierenden (Minuten) und gleichzeitig auslösesicheren Sensoren zu verbauen ggf. für eine höheren Anzahl an gefährdeten Objekten um eine sofortige Instrumentierung und Alarmierung (Minuten vor Ort) etablieren zu können.

3.3 Sensorgruppe Detektor Instabile Hänge

Im aktuellen Kapitel werden jene Sensoren beschrieben, die für die Überwachung von instabilen Hängen oder Hangabschnitten eingesetzt werden, beschrieben in Kap. 5.2.4 Punkt (b).

3.3.1 Faseroptisches Raman/Brillouin-Kabel

3.3.1.1 Beschreibung

Verteilte faseroptische Messungen stellen aufgrund der Robustheit des Systems und der hohen räumlichen sowie zeitlichen Auflösung ein leistungsfähiges Überwachungs-System für Langzeitdeformationsbeobachtungen an Hängen und Bauwerken dar. Grundsätzlich wird zwischen der verteilten faseroptischen Temperaturmessung (DTS) und der verteilten faseroptischen Temperatur- und Dehnungsmessung (DTSS) unterschieden.

Tabelle 2: Zusammenfassung der wesentlichen Eigenschaften der DTS und DTSS (Sensornet, 2010), (Sensornet, 2011)

Modell	Reichweite [km]	Räumliche Auflösung [m]	Max. Auflösung T [K]	Max. Auflösung Strain [$\mu\epsilon$]	Zeitl. Auflösung [s]
Sensornet DTS	0 - 30	1 (< 20 km) 2 (> 20 km)	0.05	---	10
Sensornet DTSS	0 - 24	1	1 °C	10	120

Das Grundprinzip beider Verfahren ist ähnlich. Ein intensives, optisches Signal (Laserlicht) wird mit einer Wellenlänge von 1550 nm für 10 ns in die Faser eingekoppelt. Das Signal erfährt an jedem Punkt in der Faser eine Streuung. Die Position des Streupunktes wird über die Laufzeit bestimmt.

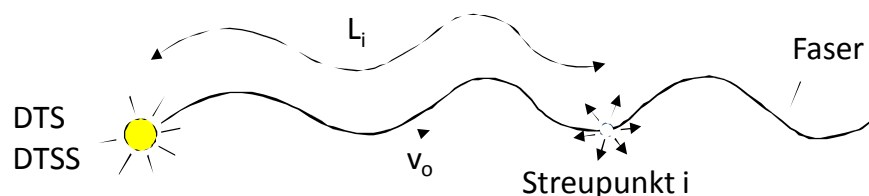


Abbildung 19: Bestimmung des Streupunktes über die Laufzeit des Lasersignals

Sowohl die Intensität als auch die Frequenzverschiebung des reflektierten Signals im Vergleich zum Eingangssignal wird für die Auswertung herangezogen. Für die verteilte Temperaturmessung wird der temperaturabhängige Raman-Anteil des reflektierten Signals

ausgewertet, für die verteilte Dehnung der temperatur- und dehnungsabhängige Brillouin-Anteil.

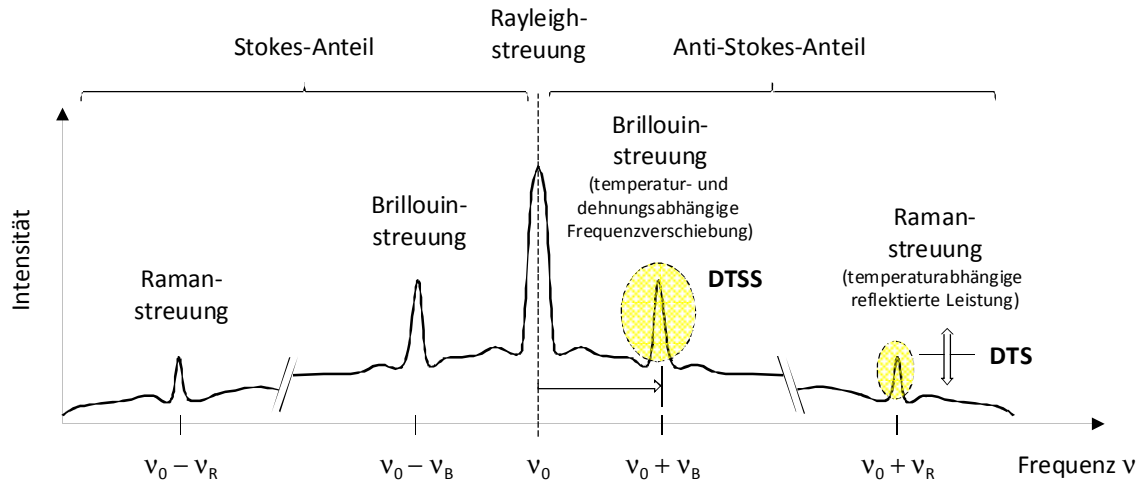


Abbildung 20: Schematisches Spektrum des reflektierten Streusignals samt relevantem Anteil des jeweiligen Messsystems

Das Verfahren der verteilten faseroptischen Temperaturmessung (DTS) hat sich im letzten Jahrzehnt vor allem im Wasserbau (Leckageortung in Staudämmen, Kanälen, Rohrleitungen, usw.) (Bodeninfiltration, Bodensättigung, Grundwassermessungen, usw.) bewährt. Aktuelle Forschungen untersuchen auch die Anwendbarkeit und eventuelle Einschränkungen des Messsystems im alpinen Gelände zur Überwachung von Hangrutschungen. Hierzu bildet Bodenwasser als natürlicher Tracer die notwendige Grundlage zur hoch aufgelösten Abschätzung vorliegender Bodenprozesse (Sättigung, Infiltration, Änderung hydrologischer Randparameter). (Kapeller, 2012 in press)

Die verteilte faseroptischen Temperatur- und Dehnungsmessungen (DTSS) findet mittlerweile vor allem in der Strukturmechanik erfolgreich Anwendung. Aktuelle Ergebnisse standardisierter Laborversuche zeigen, dass das Messsystem bereit zur Anwendung für die Überwachung instabiler Hänge ist.

Für den Einsatz zur Deformationsmessung in instabilen Hängen muss das Kabel direkt mit dem Untergrund oder der Felswand in Verbindung stehen, sodass Deformationen richtig und komplett registriert werden. Untersuchungen im Labor zeigen, dass sich die Last mit zunehmender Dehnung in Kabellängsrichtung fortpflanzt. Grund hierfür ist die notwendige Überwindung der Bodenscherfestigkeit. Abbildung 21 zeigt die Dehnungsausbreitung in

Kabellängsachse bei einer Geländeüberdeckung von 37 cm und kontinuierlicher Lasterhöhung.

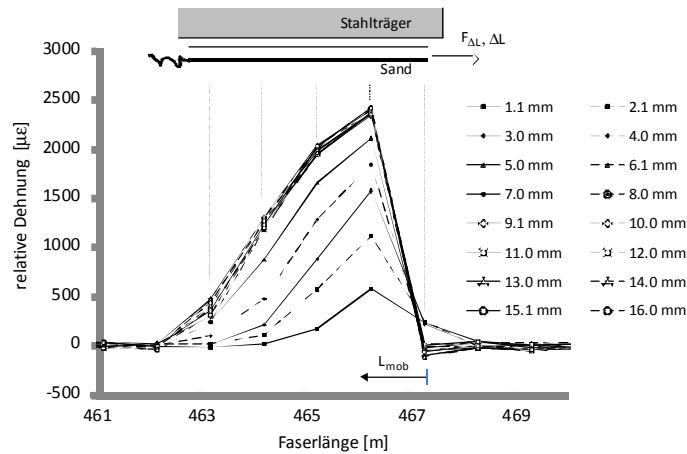


Abbildung 21: Dehnungsausbreitung entlang der Kabelachse (Kapeller, 2012 in press)

Sowohl der Längsschlupf des Kabels im Erdkörper als auch das Bodenumfließen quer zum Kabel wird durch die Anordnung von punktuellen Bodenankern vermieden. Die Lastabtragung beschränkt sich somit aufgrund der begrenzten Dehnungfortpflanzung entlang des Kabels zwischen diesen Anker. Grundsätzlich besteht die Aufgabe der Anker in der Erhöhung des Bodenwiderstandes. Möglichkeiten der Ankerbildung sind

- 3-dimensionaler Mikroanker (Iten et al., 2009).
- Keilförmig, tiefreichender Anker (Hoepffner, 2008).
- Klebeverbindung mittels rasch aushärtendem Harz im Hüllrohr.



Abbildung 22: Mögliche Bodenanker

Eine prinzipielle Vorstellung über das Dehnungsverhalten wurde unter Laborbedingungen erhalten. Die Anordnung der Versuchsdurchführung mit zwei unterschiedlichen langen Scherzonen ($SZ_1 = 1.18$ m, $SZ_2 = 0.5$ m) wird in der untenstehenden Abbildung gezeigt (aus Kapeller 2012, in press) und dort näher erläutert.

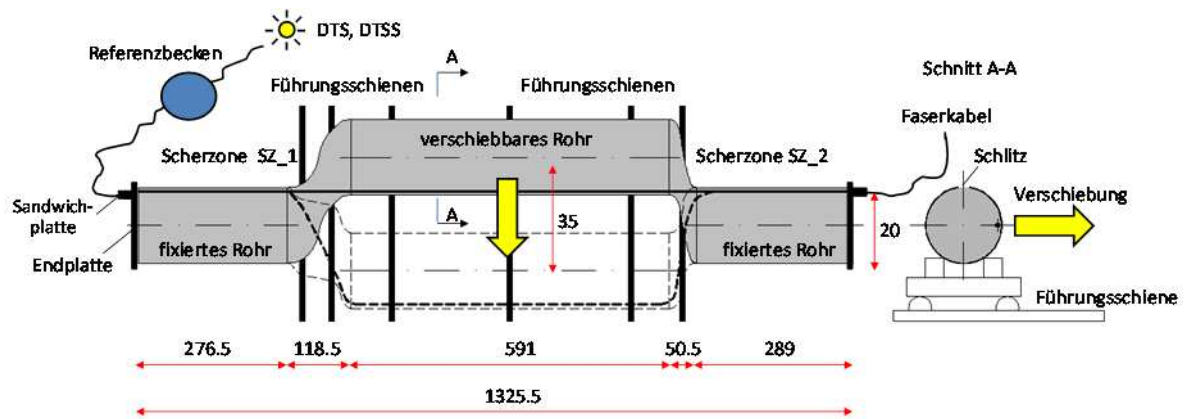


Abbildung 23: Schematischer Versuchsaufbau – Rohrsystem um Faktor 7 überhöht (Kapeller)

Die nachfolgenden Abbildungen zeigt die mit Rohren simulierte Hangdeformation in seiner Ausgangs-, Mittel- und Endposition dar.

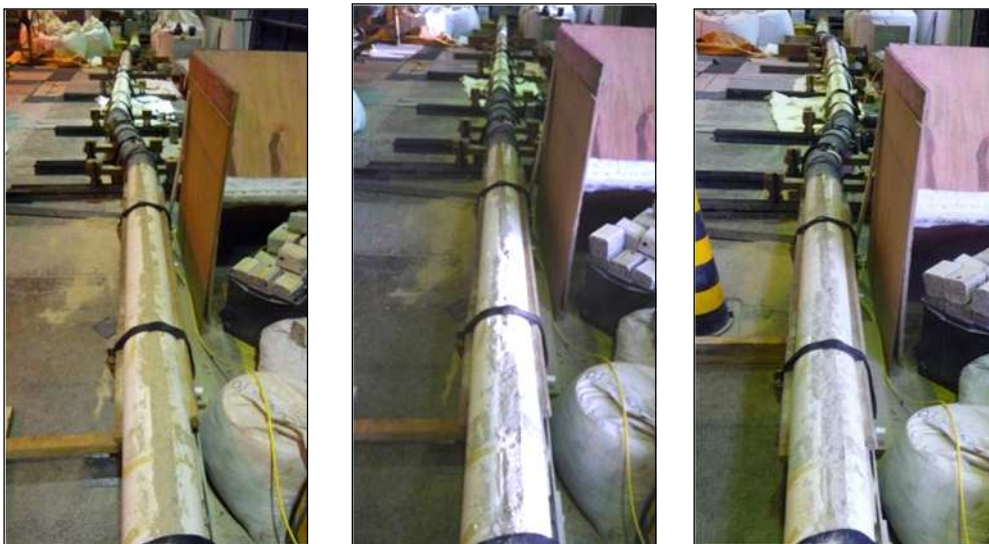


Abbildung 24: Ausgangs-, Mittel- und Endposition des Rohrsystems (Kapeller)

Diese Versuchsreihe wurde ohne Bodenanker ausgeführt, sodass die genannte Ausbreitung der Dehnung entlang der Kabelachse ersichtlich ist. Die maximale Dehnung tritt in der Mitte der Scherzone auf.

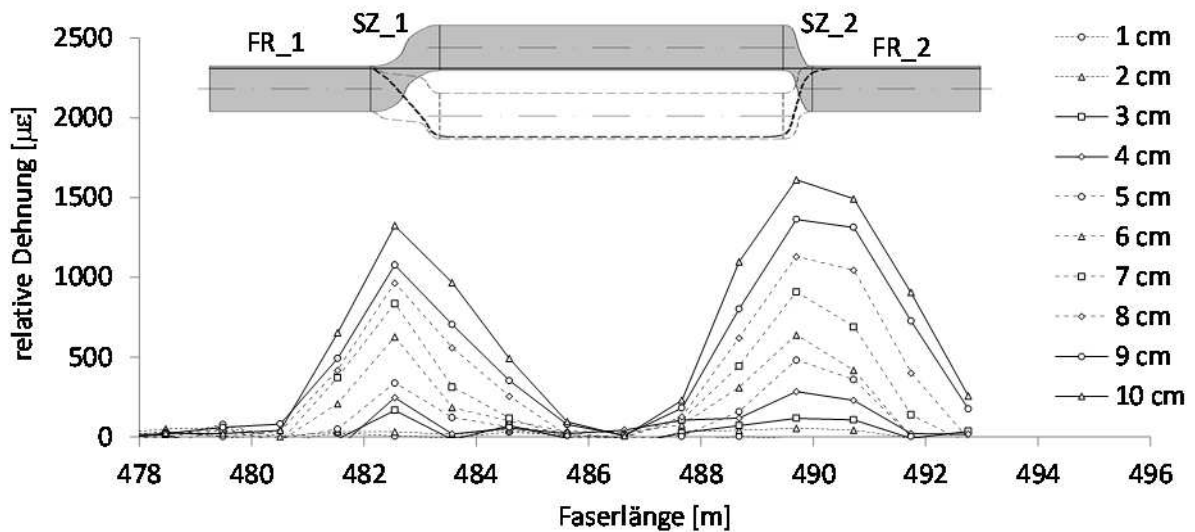


Abbildung 25: Dehnungsverlauf am simulierten Rutschkörper für die ersten 10 cm Verschiebung (Kapeller)

Die untenstehende Abbildung stellt eine schematische Skizze zur Überwachung einer möglichen Hangrutschung dar. Den Messungen wird eine interne Kabelschleife zugrunde gelegt. Dies hat den Vorteil, dass bei Auftreten eines Kabelschadens die Messungen vom anderen Kabelende erfolgen kann. Weiters wird die horizontale und vertikale Kabelanordnung mit demselben Kabelstrang ausgeführt, sodass eine gleichzeitige Messung möglich ist.

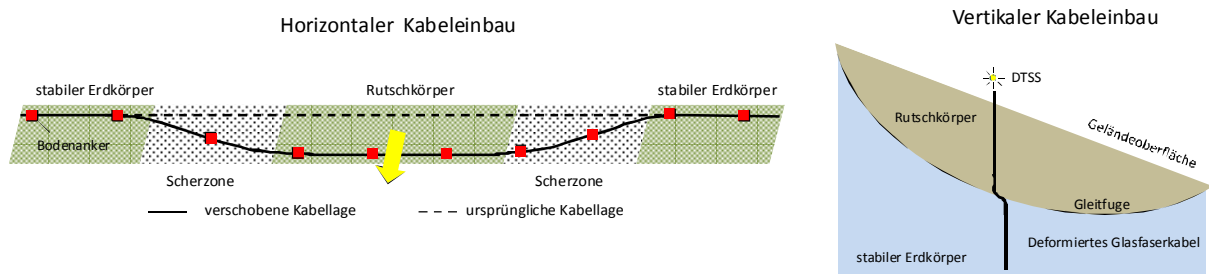


Abbildung 26: Konzeptioneller horizontaler und vertikaler Einbau der Glasfaserkabel samt Bodenanker

Bei der Systemkonfiguration wird als Referenztyp zugrunde gelegt. Hierzu wird ein wassergefüllter Kabelschacht über die gesamte Höhe im Boden vergraben, um den Einfluss von Temperaturänderungen möglichst gering zu halten. (Kapeller, 2012 in press)

Die räumliche Auflösung wird mit 1 m definiert. Ein Messzyklus von 4 Minuten liefert ausreichend genaue Ergebnisse. Die Anzahl bzw. das Intervall der Messwiederholungen wird der vorliegenden Deformationsrate angepasst.



Fig. 1. Aerial view of St. Moritz and the Brattas landslide (black circumference).

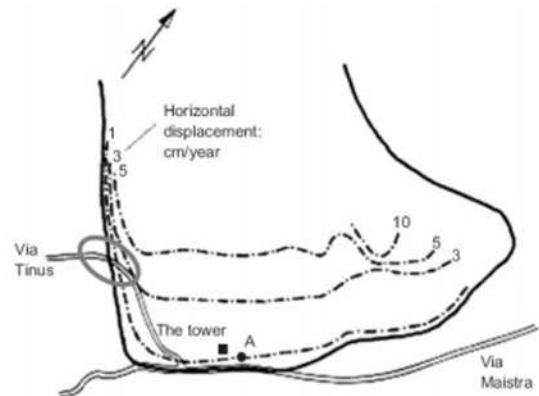


Fig. 2. Sketch of the Brattas landslide. The black circumference shows the boundary of the moving area specified by geodetical measurements^[5]. On the southwestern boundary, Via Tinus is crossing from the stable to the unstable part of the hill (grey circle).

Abbildung 27: Anwendungsbeispiel Rutschhangüberwachung St. Moritz (aus Iten et. al. 2009)

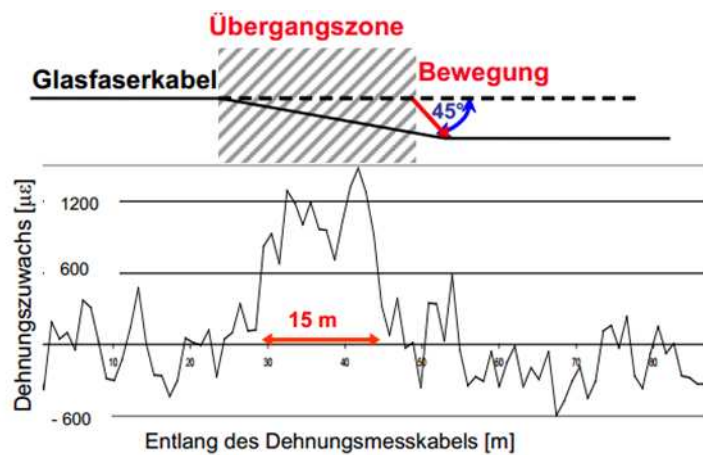


Abbildung 28: Anwendungsbeispiel Rutschhangüberwachung St. Moritz (aus Puzrin et. al. 2008)

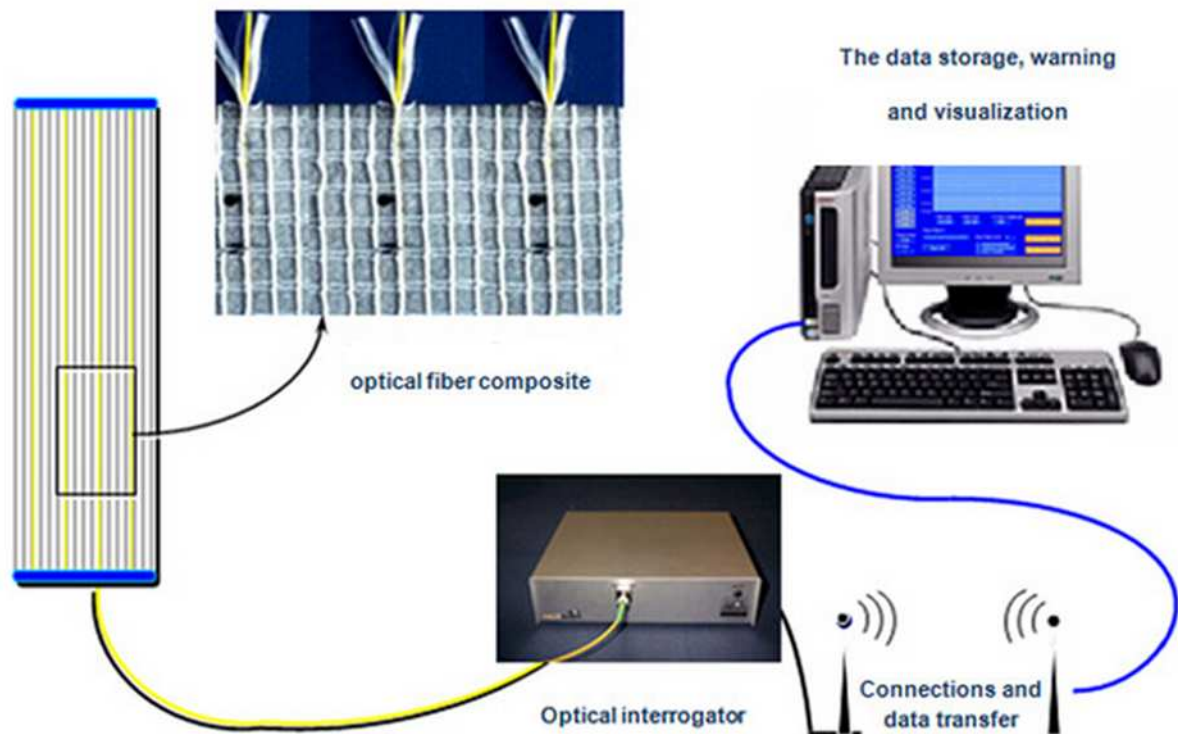


Abbildung 29: Einbau-, Mess- und Datenübertrag, Faseroptische Deformationsmessung

3.3.1.2 Kosten

Die Kosten für ein Meter geeignetes optisches Kabel ist mit € 5,- bis 20,- anzusetzen, je nach Anwendung bzw. Verarbeitung mit oder ohne Geotextileinwebung (für geschüttete Erdkörper). Für die im gegenständlichen Projekt vorgesehene Anwendung sind im Mittel € 20,- pro Laufmeter Kabel inklusive Befestigung am Hang zu kalkulieren. Die Laserquelle und Auswerteeinheit ist nach Abstimmung mit Lieferanten für das Projekt zum Zwecke der Realisierung des Prototypen mit rund € 15.000,- zu veranschlagen.

3.3.1.3 Bewertung

Die Messung von Deformationen auf Grundlage von Faseroptischen Instrumenten ist als intelligente, robuste und präzise Methode zu bewerten. Die Einsatzmöglichkeiten sind äußerst weitreichend. Es kann eine ganze Reihe an bestehenden geotechnischen Instrumenten damit ersetzt werden, von Inklinometern über Drahtextensometern, Rissmessern u.dgl. Der Vorteil in dieser Methode ist die Möglichkeit der genauen Lokalisierung der Deformation, bei gleichzeitiger Temperaturmessung und Ortung des Hangwasserspiegels.

Jedoch stellen sich aufgrund der noch geringen Verbreitung die Kosten für das Messgerät ungünstig dar. Unter anderem ist dies auf die nicht vorhandene Bieterlandschaft zurückzuführen. Es ist zu erwarten, dass sich die Kosten des Messgerätes in absehbarer Zeit halbieren bis vierteln. Eine Kooperation (a) mit Entwicklern optischer Analyseinheiten und (b) mit Herstellern bestehender Geräte ist in Anbahnung.

3.3.2 Rissmessgerät

3.3.2.1 Beschreibung

Die Überwachung von instabilen Felsflanken oder Lockermaterialböschungen mit definierten Rissbildern ermöglicht eingeschränkt den Einsatz von Rissmessern. Um die relevanten Bewegungen erfassen zu können sind aufgrund meistens unsicherer kinematischer Verhältnisse, eine Vielzahl an Rissmessern erforderlich.



Abbildung 30: Rissmesser mit Montagebolzen (Potentiometer oder Schwingsaitensensor / Interfels)

Die Messung kann mit Rissmessern über einen bestimmten Längenbereich erfolgen. In der Regel werden nach der Anbringung der Sensoren keine weiteren Festlegungen hinsichtlich zulässigem Bewegungsmaß festgelegt und auf Alarmierungen verzichtet. Meist werden Geologen für die laufende bzw. wiederkehrende Beurteilung der Messdaten herangezogen.

Eine hinreichende Einbindung solcher Sensoren erfordern (a) eine Festlegung der zulässigen absoluten Öffnungsweite der gemessenen Risse, (b) eine Festlegung der zulässigen Öffnungsrate der gemessenen Risse die eine progressive Entwicklung einer kompletten Ablösung des beobachteten Fels- oder Bodenpaketes anzeigt. Diese Daten sind nachvollziehbar ausschließlich aus mechanisch/kinematischen Überlegungen bzw. weiterführend aus numerischen Analysen zu gewinnen.

Eine gute Information ist in jedem Fall mittels Rissmessern zu gewinnen, wenn latente Risse beobachtet werden und eine beginnende Öffnung beobachtet wird, die ein beginnendes Ablösen von gefährlichen Hängen anzeigen.

Rissmesser werden an die Datenerfassungseinheit per analogem Stromausgang 0-20(10) mA angebunden. Die ausgehende Stromstärke ist analog zur Dehnung.

3.3.2.2 Kosten

Bei Überwachung von 5 Rissen sind für die Sensoren und Material folgende Kosten zu veranschlagen.

- (a) VW Rissmeter // 100mm Messbereich: € 440,00
- (b) 2 Anker für Rissmeter (2Stk. erforderlich pro Rissmeter): € 19,00
- (c) Datenkabel, 4x0,22mm², 10m pro Rissmeter: €15,-

In Summe rund € 3.000,-

3.3.2.3 Bewertung

Die Verwendung von Rissmessern auf Widerstandsdrahtbasis oder Schwingsaitenbasis stellt eine gut bewährte geotechnische Standardapplikation dar und muss in den Sensorpool aufgenommen werden. Die Einschränkung, dass ggf. Risse nicht beobachtet werden, die jedoch für die Erfassung des Deformationsbildes bedeutend sind und umgekehrt führte jedoch zur Überlegung Instabile Hänge mit einem Faseroptischen Messnetz im wahren Sinne des Wortes zu überziehen um diese Einschränkung zu vermeiden. Es ist zu erwarten, dass Extensometer weiterhin zum Einsatz kommen, jedoch für komplexere Fragestellungen von faseroptischen Methoden zunehmend abgelöst werden.

3.3.3 Reißdraht

3.3.3.1 Beschreibung

Reißdrahtsensoren werden entweder auf der messtechnischen Grundlage der Schaltung eines Relais bei Durchtrennung eines Steuerstromkabels oder (b) auf Basis der Auslösung eines Sicherheitsend- bzw. Seilzugschalter über einen Detektionsdraht bzw. ein Messeil, das über den zu überwachenden instabilen Bereich gespannt wird, realisiert. Diese einfache Methode bietet die Möglichkeit einer eindeutigen Feststellung einer Aktivierung

einer Massenbewegung jedoch keine Möglichkeit der Feststellung von gefährlichen Entwicklungen. Die Anbindung an die Datenerfassungseinheit wird über ein Relais bzw. einen Alarmschalter realisiert.

3.3.3.2 Kosten

Die Kosten für ein Reißdrahtsystem resultieren im Wesentlichen aus der Montage, wobei robuste Seilzugschalter und Montagematerial mit rund € 250,- je Reißdraht zu veranschlagen sind und die Montage mit rund € 750,- inkl. Aufstieg zu Fuß bei entfernten instabilen Hängen. Bei nicht Vorhandensein eines Loggers mit Relais ist ein solches hinzuzurechnen und zwar mit rund € 150,-.

3.3.3.3 Bewertung

Eine Reißdrahtlösung ist als Urform der Beobachtung von definitiven Systemänderungen in bei sehr geringen Kosten jedem Fall zu befürworten. Es können nahezu alle Gefahren- bzw. Prozesstypen bei Eintreten des Ereignisses günstig erfasst werden. Es sind jedoch leicht Störungen z.B. durch Windwurf von Bäumen, Schneebruch, Wild und Vandalismus möglich, wenn Reißdrähte über offene Querschnitte geführt werden. Angebracht an Felshängen und/oder Lockermaterialböschungen stellt dies keine Probleme dar.

3.3.4 Video

Siehe Kapitel 3.2.3.

3.4 Sensorgruppe Steinschlagdetektor

Die Sensorengruppe Steinschlag bzw. Sturzprozesse ist je nach Fragestellung zusammen mit jener für die Überwachung instabiler Hangflanken (vgl. Kapitel 3.2) anzuwenden. Liegt jedoch eine über einen Hang verteilte Steinschlagsituation vor, ist es sinnvoll Begleitphänomene wie Erschütterungen im Bereich der gefährdeten Struktur sowie im Bereich von bestehenden Schutzmaßnahmen zu detektieren und/oder die mit Sturzprozessen einhergehende Lärmentwicklung, die in einem sehr spezifischen Frequenzbereich wahrzunehmen ist. Letzteres wurde im Zuge der Errichtung der Felssturzdämme am Eiblschrofen als Auslöseanlage für die Evakuierung des Baupersonals wirkungsvoll eingesetzt (Scheikl et. al. 2000).

Im Zuge der Machbarkeitsanalyse wurde zudem ein innovatives, System mit einbezogen, dass sowohl die beginnende Bewegung von instabilen Hängen oder Sturzblöcken auf hochempfindliche Weise ermöglicht als auch die Einschlagdetektion an bestehenden Strukturen bzw. Schutzbauten. Das System arbeitet völlig kabellos und die Sensoren arbeiten 5 Jahre lang ohne erforderlichen Batteriewechsel.

Beginnt sich zum Beispiel ein Sturzblock oder ein Hangabschnitt zu bewegen wird sofort ein Alarmrelais geschaltet und es werden Alarmnachrichten abgesetzt (SMS).

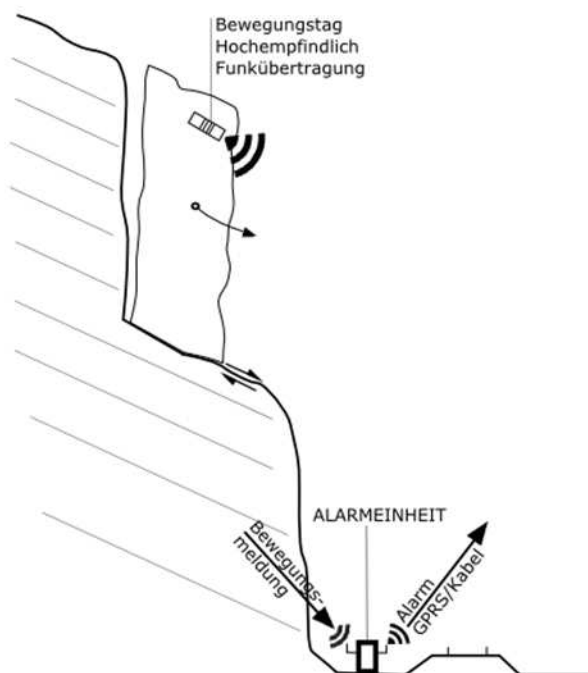


Abbildung 31: Skizze zur Überwachung eines instabilen Felshanges

3.4.1 Erschütterungs- und Bewegungsmessung

3.4.1.1 Beschreibung

Erschütterungs- und oder Bewegungsmessungen an steinschlagbelasteten Strukturen oder an potenziellen Sturzblöcken selbst ermöglichen die klare Detektion von a) Steinschlageinwirkungen und b) von Blockablösungen im Hang. Erschütterungsmessungen werden mit einfachen Beschleunigungssensoren realisiert (vgl. Kap. 3.2.1), wobei für Steinschlagdetektion Erschütterungstags an Schutzbauten als auch an Bestandstrukturen eingesetzt werden können (vgl. Abbildung 32) .



Abbildung 32: Erschütterungstags zur Impactdetektion an Schutzzäunen

Die Anbindung an die Datenerfassungseinheit wird über einen Spannungsausgang der in der Regel Spannungen zwischen 10V/m/s und 20V/m/s liefert (Die Ausgangsspannung verhält sich proportional zur Schwinggeschwindigkeit und entsprechend des Antwortspektrums des Geophons).

3.4.1.2 Kosten

Die Kosten für ein Geophon für diese Aufgabe (mit eingeschränkter Anforderung hinsichtlich Sensitivität und Frequenzbereich) ist mit € 1.200,- je Sensor zu veranschlagen, die idealer Weise je nach Länge des zu beobachtenden Infrastrukturabschnittes stets in der Anzahl zu verbauen sind. Die Montage an Schutznetzen erfordert je ein Geophon je Netzreihe. Die Verwendung von neuen Kleinsensoren reduziert die Kosten je Sensor auf rund € 200,- und ermöglicht eine dichtere Austeilung, was angestrebt wird.

3.4.1.3 Bewertung

Der Einsatz von Geophonen stellt eine zunehmend zum Standard werdende Lösung dar um Einwirkungen aus Lawinen, Sprengerfolg für Lawinenauslösung, Muren, Steinschlag und Felsstürzen zu detektieren. Dafür können günstige Geophone eingesetzt werden, die bis zur Montage als Kleinsensoren an Zäunen reichen. Diese Möglichkeit soll in jedem Fall genutzt werden um eine Detektion mit hoher räumlicher Dichte zu ermöglichen.

3.4.2 Richtmikrophon

3.4.2.1 Beschreibung

Im Zuge von Steinschlagereignissen führen die Einschlagereignisse der Sturzblöcke aufgrund von Bruchvorgängen und rascher elastischer Deformation zu frequenzspezifischen Schallereignissen. Dies konnte im Zuge der Baustellenabsicherung

zu den Schutzdammbauten im Auslaufbereich des Felssturzes Eiblschrofen, gezeigt werden (Scheikl et. al. 2000). Das Richtmikrofon wird über einen Schallwandler geführt, der Frequenz- und Intensitätsspezifisch ein Stromsignal an ein Alarmrelais abgibt und einfach einzubinden ist. Das Richtmikrofon wird in Kombination mit Kleinsensoren und einer IR-Videokamera eingesetzt.

3.4.2.2 Kosten

Ein geeignetes Richtmikrofon ist mit rund € 500,- zu veranschlagen, wobei die Herstellung einer zusätzlichen Schaltung sowie Signalverarbeitung zur Steinschlagspezifischen Auswertung und Anbindung an ein Alarmrelais mit rund 2.500,- zu veranschlagen sind.

3.4.2.3 Bewertung

Der Einsatz von Richtmikrofonen wurde bereits erfolgreich getestet und ist aber in Kombination mit weiteren Sensoren einzusetzen, da Störeinflüsse wie Wind oder Verkehr zu berücksichtigen sind. Die Anwendbarkeit ist aufgrund der eindeutigen Zuordenbarkeit von Steinschlaglärm in jedem Fall zu erwägen, wenngleich auch die Implementierung eines Signalverarbeitungsmoduls noch erforderlich ist.

3.4.3 Video

Siehe Kapitel 3.2.3.

3.5 Übergeordnete Wetterdaten, Fernerkundung und Prognose

3.5.1 Beschreibung

3.5.1.1 Wetterradar

Eine der wesentlichen Fragen bzw. Aufgaben bei der Erfassung von Niederschlägen ist die möglichst zutreffende Darstellung der räumlichen Verteilung. Hier stellt die starke räumliche Varianz der Niederschlagsmengen eine hohe Anforderung an Erfassungssysteme auf Basis von Fernerkundungstechnologie. Dies betrifft nicht nur lokalen Phänomene in der Form von Regen- oder Schneeschauern, sondern auch stratiforme Niederschläge, wo die Unterschiede der Niederschlagsmengen, auch verhältnismäßig kleinräumig, oft sehr groß sind.

Das traditionelle Werkzeug für Niederschlagsmessung ist der Niederschlagsmesser oder Ombrometer. Niederschlagsmesser sind relativ günstig und die Ergebnisse sind genau, müssen jedoch mittels baulicher Maßnahmen am Einsatzort installiert werden, was vor allem im alpinen Gelände mit hohen Aufwänden verbunden ist.

Ziel ist jedoch Niederschlagsmengen in der Fläche zu ermitteln. Dies würde auf konventionell Weise eine Unzahl an Messstationen erfordern, was grundsätzlich als unrealistisch einzustufen ist.

Wetterradardaten bieten als Alternative eine sehr genaue Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Variabilität des Niederschlags. Die Niederschlagsintensität wird indirekt aus der Reflexion von elektromagnetischen Impulsen durch die Regentropfen berechnet. Die ermittelten räumlichen Reflektivitätsdaten müssen jedoch für Aussagen der tatsächlich an der Oberfläche ankommenden Niederschlagsmenge laufend korrigiert bzw. mittels räumlich verteilten Niederschlagsstationen kalibriert werden

Kalibrierung von Wetterradarwerten

Um die Qualität der Niederschlagsdaten zu verbessern, wird eine Kombination von Daten traditioneller Regenmesser und Radarstationen genutzt. Dadurch werden die individuellen Stärken der zwei Systeme verknüpft. Das Radar trägt Informationen über die räumliche Niederschlagsverbreitung, während der Niederschlagsmesser Punktmessungen von relativ hoher Qualität zuführt. Im Rahmen des ZIT Forschungsprojektes SITUMET hat UBIMET eigene Kalibrierungsalgorithmen für die Alpen entwickelt und analysiert bereits jetzt in

Echtzeit, flächendeckend die Niederschläge in ganz Österreich. Dabei verwendet UBIMET alle verfügbaren Wetterradarstationen im Inland, sowie im benachbarten Ausland; sowie Daten von mehr als 300 meteorologischen Messstellen.

Die räumliche Auflösung der Niederschlagsanalyse liegt standardmäßig bei 4km, für Sonderprojekte und Überwachung kleiner Einzugsgebiete kann jedoch die Auflösung auf 1x1km bzw. 500x500m erhöht werden. Bisherige Vergleiche ergeben eine ausreichende Aussagesicherheit sodass der Einsatz von Wetterradarstationen in Kombination mit Niederschlagsstationen als machbar einzustufen ist.

3.5.1.2 Numerische Wetterprognosen

Als Lokalmmodell verwendet UBIMET das sogenannte ARW (advanced weather research and forecasting model) und implementierte Varianten der variationellen (Var) Analyse, um das Modell nowcastingfähig zu machen. Die variationelle Analyse ist ein statistisches Werkzeug, um aktuellste Beobachtungen, wie Wetterstations- und Radardaten, in die Initialisierung eines Modells einfließen zu lassen und um damit die Entwicklung und Auswirkung von kleinskaligen Phänomenen, wie Gewittern oder dynamischen Fronten deutlich verbessert vorhersagen zu können. Dabei fließen in der dreidimensionalen variationelle Version (3D-Var) Beobachtungen von einem Zeitpunkt in das Modell ein. Beim Modell ARW 3D-Var kommt der Herstellung des Anfangszustandes der Modellierung große Bedeutung zu.

Anders als bei unechten Nowcastverfahren wie INCA wird bei der Datenassimilation des ARW 3DVAR Zyklus der Ausgangszustand des Modells an die festgestellte Wirklichkeit physikalisch kohärent angenähert und die dynamischen Gleichungen darauf basierend zeitlich gelöst.

Bei Kongressen wie z.B. dem österreichische Meteorologentag 2011 bzw. die aktuellen Vorhaben des Britischen Wetterdienstes (UK Met Office) zeigen, dass die operationelle 3D-Var eine Leading-Edge Technologie ist, die anderen derzeit propagierten Verfahren, wie dem System INCA, technisch und qualitativ überlegen ist. INCA beruht im Vergleich zu 3D-Var auf einer linearen Annäherung des aktuellen Zustandes an einen nicht-variationellen Modelllauf.

Dem im Rahmen des ZiT Projektes SITUMET entwickelten Nowcasting Modells ARW 3D-Var kommt insofern eine große Bedeutung zu, da dieses Modell für die nächsten 8 Stunden

exakte Niederschlagsprognosen inkl. Gewitterprognosen liefert. Für längerfristige Prognosen wird das bereits im Rahmen vom ÖBB infra:wetter verwendete Prognosemodell RACE bzw. ARW von UBIMET verwendet.

Prognosemodelle

UBIMET ARW 3D-Var

Prognosehorizont: 8 Stunden

Update-Intervall: stündlich bis 10 minütlich

Räumliche Auflösung: 4 km bis 100m

UBIMET ARW

Prognosehorizont: 87 Stunden

Update-Intervall: 4x täglich

Räumliche Auflösung: 4km bis 100m

UBIMET RACE

Prognosehorizont: 96 Stunden

Update-Intervall: 2x täglich

Räumliche Auflösung: 4 km bis 100m

3.5.1.3 Konzept der meteorologischen Datenerfassung

Bei der Implementierung meteorologischer Parameter in das Detektionssystem müssen zwei Kategorien unterschieden werden. Zum einem stehen Messdaten, sowie ggf. historische Daten (Zeitreihen) zur Verfügung, zum anderen kann durch immer besser Prognosen im Kurzfrist-, aber auch Mittelfristbereich, auch die Wetterentwicklung der nächsten Minuten und Stunden in Warnsysteme eingebunden werden.

Für die Einbindung von Echtzeitdaten wird in einem ersten Schritt geprüft ob eine Überwachung der meteorologischen Situation für den jeweiligen Standort mittels Fernerkundung (kalibrierte Radardaten), oder mittels mobiler Wetterstation vorzunehmen ist. Sollte durch Fernerkundungsmethoden eine ausreichende Genauigkeit analysiert

werden, kann ggf. auf eine Wetterstation verzichtet werden, was sowohl Kosten als auch Aufwände senkt, sowie laufende Wartungsarbeiten vermeidbar macht!

Für die Einbindung von Prognosen in die Detektion werden die erforderlichen Prognosehorizonte bzw. die erforderliche Frequenz der Prognoseupdates auf die konkrete Fragestellung angepasst.

3.5.2 Kosten

Die Daten aus dem System infra::wetter liegen bei der ÖBB bereits vor und können in das Detektionssystem ohne zusätzliche Bereitstellungskosten eingebunden werden. Die Aufwendungen für das Datenhandling über Austauschserver sind in die Betriebskosten bzw. in die Kosten die im Zuge der Umsetzung des Entwicklungsprojektes als Personalkosten anfallen zu stellen, also Teil der kalkulierten Aufwendungen für die Umsetzung des Prototyps. Eine diesbezügliche Abklärung zur Nutzung bereits beim Infrastrukturbetreiber vorhandener Daten wurde vorgenommen.

3.5.3 Bewertung

Fernerkundungsdaten und Prognosen zu meteorologischen Parametern sind als wesentliche Komponente im Zuge der gesamthaften Beurteilung eines Gefahren Einzugsgebiete zum einen hoch verfügbar und zum anderen sehr wertvoll. Laufende Projekte zur Murüberwachung in der Schweiz zeigen, dass die Einbindung u.a. von Wetterradardaten bereits den Stand der Technik darstellt. Pilotversuche in Österreich sollen Einzugsgebietsgenau Niederschläge Darstellen. Da die maßgeblichen Infrastrukturbetreiber bereits auf meteorologische Fernerkundungsdaten und Prognosen zurückgreifen sind diese als sofort verfügbare Daten auch in das gegenständlich dargestellte System einzubinden.

3.6 Optionale Sensorgruppen mittelfristiger Aufbau

3.6.1 Lawinendetektor

Da maßgebliche Lawinen dem Infrastrukturbetreiber in der Regel bekannt sind ist die kurzfristige Aktivierung und Installation einer Lawinendetektion, anders als bei Auftreten einer neuen Gefahrenstelle wie z.B. einer Rutschung, grundsätzlich nicht erforderlich. Die Umsetzung eines Lawinendetektors ist einfach in das angedachte System einzubinden. Um die Anlage jedoch auf das Kriterium eines schnell einsetzbaren Gefahrendetektors abstellen zu können sollen Lawinensensoren die über das Grundequipment hinausgehen, auch aus Kostengründen, nicht vorgehalten werden.



3.6.1.1 Beschreibung

Die Sensorengruppe Lawine kann für maßgebliche trockene Fließ- und Staublawinen sowie für nasse Fließlawinen mit jeweils spezifischen Sensoren realisiert werden.

Das Auftreten einer Lawine kann grundsätzlich mit einfachen Geophonen in der Transportbahn ähnlich wie Muren erkannt werden sowie mittels Dopplerradar welches die Frontgeschwindigkeit der Lawine sehr gut erfassen kann.

Solche Anordnungen wurden bereits für Ortschaften und Schigebiete, Straßen und Bahnstrecken in Österreich (Ischgl – Bild links) und der Schweiz sowie zur Auslösedetektion von Lawinensprenganlagen realisiert.

3.6.1.2 Kosten

Die Kosten für ein Geophon für diese Aufgabe (mit eingeschränkter Anforderung hinsichtlich Sensitivität und Frequenzbereich) ist mit € 1.200,- je Sensor zu veranschlagen, die idealer Weise je nach Breite und Länge der zu beobachtenden Lawinenbahn in der erforderlichen Anzahl zu verbauen sind.

Die Verwendung von Kleinsensoren reduziert die Kosten je Geophon auf rund € 200,- und ermöglicht eine dichtere Austeilung, was angestrebt wird.

Die Kosten für eine Detektion von Lawinen mittels Dopplerradar erfordert einen leistungsfähigen Sensor mit Kosten von rund € 6.000,-

3.6.1.3 Bewertung

Der Einsatz von Geophonen stellt eine zunehmend zum Standard werdende Lösung dar um Einwirkungen aus Lawinen, Sprengerfolg für Lawinenauslösung, Muren, Steinschlag und Felsstürzen zu detektieren. Dafür können günstige Geophone eingesetzt werden, die bis zur Montage als Mikrogeophone an Zäunen für die Objektsicherung reichen. Diese Möglichkeit soll in jedem Fall genutzt werden um eine Detektion mit hoher räumlicher Dichte zu ermöglichen.

Die organisatorische Lawinensicherung mittels Detektion der Frontgeschwindigkeit über Dopplerradar wurde in zahlreichen Schweizer Schigebieten und entlang von Straßen erfolgreich realisiert und stellt den Stand der Technik ebenso wie Geophone dar.

3.6.2 Optionale Sensorgruppe Wetterstation

Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurde festgestellt, dass der Einsatz von meteorologischen Messstellen vor Ort die zeitnahe und zuverlässige Datenakquisition sicherstellen kann. Um die Wartungsintensität gering und Messqualität optimal halten zu können wurden im Zuge der gegenständlichen Studie entsprechende Sensoren ausgewählt die diese Anforderungen erfüllen. Dennoch sollen vorwiegend Fernerkundungsdaten für die Einbindung von meteorologischen Daten zum Zug kommen. Die Mobilisierung und Inbetriebnahme einer Wetterstation zusätzlich zur Mobilisierung der unmittelbaren Prozessdetektoren innerhalb von Stunden, könnte sich als schwierig erweisen. Hier ist zu beachten, dass Wetterdaten Daten die noch vor der Prozessaktivierung Hinweise auf die Entwicklung von Gefahrenprozessen, jedoch keine direkte Auskunft über das Stattfinden eines solche Gefahrenprozesses liefern.

3.6.2.1 Beschreibung

3.6.2.1.1 Temperatur

Die Messung der Temperatur soll über PT100 Sensoren erfolgen, die durch einen Strahlungsschutz gegen die Störeinwirkung der Sonneneinstrahlung geschützt werden. Die Erfassung der Temperatur ist zusammen mit der Erfassung der Luftfeuchte bedeutend, um zwischen Fest- und Flüssigniederschlägen zu unterscheiden und eine Abschätzung der

Neuschneezuwachsraten zu erhalten, sofern keine gesonderte Schneehöhenmessung erfolgt.

3.6.2.1.2 Luftfeuchtigkeit

Zur Erfassung der Luftfeuchtigkeit, wurden kombinierte Thermo-Hygro-Clips ausgewählt. Die Messung basiert auf dem kapazitiven Prinzip bzw. der Messung der elektrischen Feldstärke zwischen zwei Kondensatorplatten, wobei die Luft als Dielektrikum fungiert. Die gemessene Feldstärke ändert sich mit der Luftfeuchte.

3.6.2.1.3 Wind

Bei der Sensorik für Windmessung wurde insbesondere darauf geachtet, dass diese auch unter tiefwinterlichen Bedingungen (Schneefall/Vereisung) zuverlässig bleibt. Aus diesem Grund wurde die Messung mittels Ultraschallsensoren gewählt, die mit einer geringfügigen Beheizung auskommt und somit im Kontext mit der erforderlichen Energieautarkie (Solar und Akku) stromsparend eingesetzt werden kann. Zudem sind in Ultraschall-Sensoren keine sensiblen mechanisch-beweglichen Teile eingebaut.

3.6.2.1.4 Niederschlag

Die Erfassung des Niederschlages (vor allem im Winter) stellt eine der größten Herausforderungen in der Meteorologie dar. Bislang wurde der Niederschlag meist von Auffangbehältern („Niederschlagskübel“ / Ombrometer) aufgefangen und (im Winter) durch Heizungen oder chemische Zusätze geschmolzen. Neben der hohen Wartungsintensität stellt sich bei diesem Messprinzip vor allem die massive Unterschätzung der Niederschlagsmengen bei Windeinfluss als großes Manko dar, da viele Flüssigkeitspartikel (vor allem in gefrorenen Zustand) bei starkem Wind nicht in den Auffangbehälter fallen.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden neue Arten der Niederschlagserfassung auf Basis des Radarmessprinzips sowie des Lasermessprinzips geprüft. Aus ersten Studien lässt sich ableiten, dass insbesondere mittels laserbasierter Messung gute Ergebnisse bei der Erfassung der Niederschlagsmengen erzielt werden können. Vor allem unter winterlichen und windigen Bedingungen scheinen die Lasersensoren deutliche Vorteile gegenüber den bisherigen Messmethoden aufzuweisen.

3.6.2.1.5 Schneehöhe

Das angedachte Detektionssystem soll auch über die im Rahmen der Prototypenentwicklung seitens der ÖBB festgelegte Prozesstypenorientierung hinaus, welche sich im Wesentlichen auf geologisch/hydrologisch begründete Gefahrentypen bezieht, einsetzbar sein. Aus diesem Grund wurden in den Sensorpool auch Schneehöhenmessgeräte aufgenommen.

3.6.2.1.5.1 Ultraschallpegel

Zur Erfassung der Schneehöhe können grundsätzlich zwei Sensortypen eingesetzt werden. Ultraschallpegel und/oder Laserschneepegel.

Bei Ultraschall-Schneepegel kann mittels Reflektion des Ultraschalls an der Schneeoberfläche und einer Laufzeitmessung der Schallwellen die Entfernung zwischen dem Sensor und der Schneeoberfläche ermittelt werden. Hier muss jedoch die Variabilität der Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Lufttemperatur kompensiert werden. Temperaturschichtungen im Bereich des Messfeldes vor allem in Bodennähe erzeugen jedoch in der Praxis Fehler im Bereich von mehreren Zentimetern, die grundsätzlich akzeptabel sind.

3.6.2.1.5.2 Lasermesspegel

Im Rahmen des ÖBB Projektes infra:wetter wurden einige Wetterstationen mit Laser-Schneepegeln ausgestattet, welche deutlich bessere Ergebnisse liefern und der Fehler in der Praxis unter einem Zentimeter liegt. Im Rahmen des Projektes sollen bei Bedarf von ergänzenden Schneehöhenmessungen die Laser-Schneepegel verwendet werden.

3.6.2.1.5.3 Flächendeckende Schneehöhenmessung, Laserscanner

Die Flächendeckende Erfassung der Schneehöhenverteilung mittels Laserscanner wurde hinsichtlich des Einsatzes im Sensorenpool geprüft. Die Anwendbarkeit des Systems kann generell als machbar eingestuft werden. Entsprechende Messungen wurden über mehrere Wintermonate im Bereich Valluga 2000/2001 (Scheikl. et. al. 2001), im Bereich der Feuersang- und Thomasecklawine 2007/2008 und der Koppenpasslawinen 2008/2009 (Scheikl. et. al. 2009) gezeigt werden.

3.6.2.2 Kosten

3.6.2.2.1 Mobile Wetterstation

Für eine leicht transportable Kleinstation Wetter/Schnee sind rund € 30.000,- zu veranschlagen, welche folgende Komponenten umfassen:

- (a) Mast 4,5m
- (b) Windmessung
- (c) Temperatur
- (d) Luftfeuchte
- (e) Schneehöhe
- (f) Temperatur Schneeoberfläche
- (g) Temperatur Bodenoberfläche
- (h) Reflektierte Kurzwellenstrahlung (Himmel)
- (i) Solarversorgung, Batterie
- (j) Datenlogger und Funk- oder GPRS/GSM-Modul

3.6.2.2.2 Flächendeckende Schneehöhenmessung

Die Kosten für eine flächendeckende Schneehöhenerfassung mittels Laserscanner für einen Messradius von bis zu 5000m ist mit rund € 60.000 pro Saison inkl. Gerätemiete, Stromversorgung und Fernwartung bzw. Fernabfrage zu veranschlagen.

Für einzelne Messkampagnen zur Feststellung der flächendeckenden Schneehöhenverteilung für Kalibrierungszwecke sind € 2.500,- je Messeinsatz inkl. Auswertung zu veranschlagen, da das Messgerät und die zugehörige Infrastruktur bei alpinfra bereits vorhanden sind.

3.6.2.3 Bewertung

3.6.2.3.1 Wetterstation mobil

Mobile Wetterstationen werden bei ausreichender Vorbereitungszeit im Zuge lokaler bzw. einzugsgebietsbezogener Gefahrenfeststellungen bereits eingesetzt. Hier treten aufgrund der wirtschaftlichen Interessen von Schigebieten im Zusammenhang mit der Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit von Zubringerinfrastrukturen in den Vordergrund. Aus aktuellen Projekten im Zusammenhang mit der Gefahrenkommissionierung von

Kraftwerksbaustellen im Hochgebirge wissen wir (Projektarbeit Ausbau Kraftwerk Kaunertal, alpinfra 2009-2012) dass auch für die Beurteilung von Winterbaustellen Wetterstationen eingesetzt werden (Lawinenkommissionierung Bohrerkundung AKK, snowcontrol 2011/2012).

Im Bereich bekannter Gefahrenzuggebiete, ist aus diesem Grund die Verfügbarkeit von belastbaren meteorologischen Fernerkundungsdaten zu prüfen und im Falle eine oder mehrere Wetterstationen vorzusehen. Dies umfasst jedoch nicht das flexible Detektionssystem für Naturgefahren, das primär auf die Detektion des Gefahrenprozesses selbst ausgelegt ist und mit meteorologischen Fernerkundungsdaten unterstützt wird.

3.6.2.3.2 Flächendeckende Schneehöhenmessung

Eine flächendeckende Schneehöhenmessung für potenzielle Lawinenanbruchgebiete ist nach dem derzeitigen Stand der Technik möglich, jedoch aufwändig. Eine intensive Betreuung der Station für eine durchgehende Messung kann erforderlich werden.

Aus diesem Grund wird ein Laserscanner, der mit einer Reichweite von bis zu 5000m an der Grenze zwischen Nah- und Fernerkundung anzusiedeln ist, nicht in den festen Sensorpool aufgenommen sondern für ggf. wiederkehrende präzise Feststellungen der Schneedecke für Kalibrierungszwecke vorgesehen also Fallweise und flexibel eingesetzt.

4 DATENERFASSUNG, DATENÜBERTRAGUNG, VERSORGUNG

4.1 Energieversorgung

Die Energieversorgung der Sensorgruppen und der Datenerfassungseinheit erfolgt über Solarpaneele und einem Windgenerator samt Pufferspeicher. Somit ist auch bei längeren Schlechtwetterlagen eine Energieversorgung sichergestellt. Zusätzlich soll der Einsatz einer Wasserstoffzellenversorgung weiter geprüft werden, wie sie z.B. bei der ASFiNAG bereits verwendet wird.

4.2 Datenerfassung und Datenübermittlung

Die Datenübermittlung zwischen den Sensoren und den jeweils zugehörigen Messgeräten erfolgt per Datenkabel. Hier werden je nach Sensortyp (a) Strom 0-20mA oder 0-10mA (b) Spannung 0-20V oder höhere Spannungen z.B. bei Geophonen verwendet. Weiter kommen Schnittstellenkabel wie RS232 und Datenbuskabel zum Einsatz. Die Datenübertragung zwischen der dezentralen Datenerfassungseinheit und einzelnen Messorten vor Ort erfolgt redundant per GPRS/GSM und bei räumlicher Nähe per Datenkabel. Ebenso die Datenübermittlung zur Fernwirkanlage des Infrastrukturbetreibers sowie zur zentralen Datenerfassungseinheit.

Der Vorteil von GPRS Übertragung liegt in der sofortigen ortsunabhängigen Verfügbarkeit der Daten. Redundant dazu kann das GSM-Netz bzw. EDGE genutzt werden. Eine Übertragung per Festnetzleitung bei Verfügbarkeit ist ebenso vorgesehen bzw. möglich. Die Daten der Sensoren werden im Sinne einer umfangsoptimierten Datenhaltung in zwei Intervallgruppen von den Sensorengruppen an die Datenerfassungseinheit vor Ort übermittelt. Bei nicht erheblicher Ausgangslage bzw. nicht gefahrenrelevanten Systemzuständen werden die Daten alle 10m gespeichert und an die Datenerfassungseinheit vor Ort und weiter an die zentrale Datenerfassungseinheit übermittelt. Bereits im Bereich der jeweiligen lokal installierten Sensorengruppe wird bei Eintreten eines Aktivierungsschwellwertes die Datenübertragung auf kürzere Intervalle umgestellt.

Tritt eine Schwellwertüberschreitung (Warn- und/oder Alarmschwelle) ein, so erfolgt (a) eine sofortige Übertragung und eine Benachrichtigung über die vorgesehenen Schnittstellen und Kommunikationswege sowie (b) die Verkürzung der

Übertragungsintervalle je nach Sensorgruppe auf bis zu sekundlich. Weiter wird für maßgebende Detektionsstellen eine umgehende Echtzeitvideoverbindung aufgebaut und im zentralen Datenerfassungs- und Detektionssystem per Popupfenster angezeigt.

4.3 Datenfluss zum Infrastrukturbetreiber

Die Datenübertragung erfolgt

- a) über eine seitens des Infrastrukturbetreiber vorgesehene Fernwirkanlage, wobei die dort verfügbaren Dateneingänge für Warnung und Alarmierung bedient werden können (RS232, analoger Stromeingang 0-20(10)mA, Analoger Spannungseingang 0-10 (20)V, ggf. Datenbus)
- b) per SMS an einen festzulegenden Kreis an Entscheidungsträgern
- c) per Email an einen festzulegenden Kreis an Entscheidungsträgern
- d) laufend per Onlinesystem, das für einen festzulegenden Kreis an Entscheidungsträgern freigeschaltet wird.

4.4 Datenfluss für Meteodaten zum Detektionssystem

Die Datenübertragung für Wetteradardaten und Prognosedaten erfolgt über das zentrale Serversystem, an dem auch die Österreichische Unwetterzentrale angeschlossen ist. Durch eine redundante Auslegung der Server und der Datenübermittlung ist mit einer Datenverfügbarkeit zwischen 99% und 100% zu rechnen. Die Daten werden vom Detektionssystem direkt von einer ftp Server abgeholt, alternativ ist auch eine Übermittlung von Daten, oder aber auch im Bedarfsfall von Alarmwerten möglich.

4.5 Datensammler

Als Datensammler sind Logger inkl. wetterbeständigem, abschließbarem Gehäuse IP65, 230VAC Aufladegerät und 12V aufladbare Batterie (7Ah), Kabeldurchführungen für die benötigte Anzahl von Sensoren, Zusammenbau, Prüfung und Programmierung mit je einem Multiplexer 16/32B Kanäle, Strom-, Spannungseingänge RS232 Eingänge, 20-100 Watt Solarpanel oder Windrad zur autarken Stromversorgung vorgesehen.

Weiter ist eine entsprechende Software für Datenabruf, Darstellung der Daten, Einrichtung von Alarmschwellen erforderlich sowie jeweils Modems (GPRS/GSM) zur Datenfernabfrage.

Für exponierte Messaufgaben sollen Funkdatenlogger eingesetzt werden, die mit der lokalen Datenerfassungseinheit kommunizieren und entsprechend des Funktionsschaubildes aus Abbildung 33 aufgebaut ist. Der Datalogger arbeitet in einstellbaren Zeitintervallen von einer Minute bis 99 Stunden. Die Messhäufigkeit ist mit bestimmend für die Programmierung und Datenlesen erfolgen mit handelsüblichem Notebook oder Palmtop-Rechner. Mehrere Funkdatalogger werden im Messrhythmus zeitversetzt aktiviert. Die Anzahl der Messungen vor einer Aussendung per Funk sowie die Aktivität der einzelnen Messkanäle werden festgelegt. Somit können mehrere Messungen gesammelt übergeben werden. Die Akkubetriebszeit beträgt ca. 3 – 6 Monate.

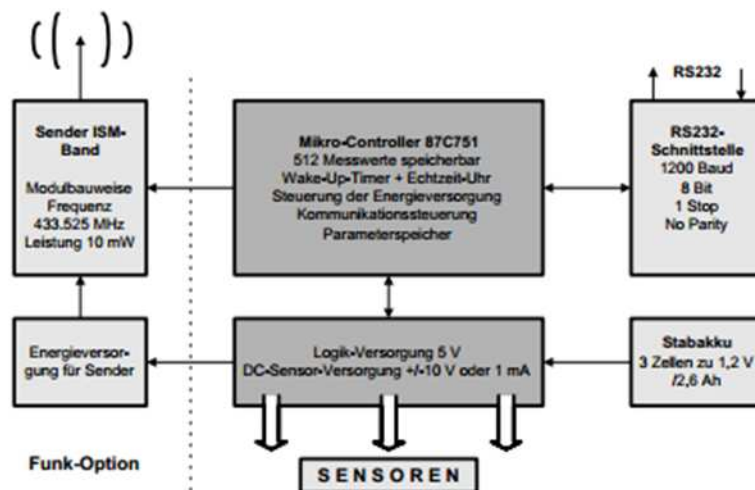


Abbildung 33: Funktionsschaubild Funkdatenlogger

4.6 Kosten

Für die Datenerfassung inkl. Module für den autarken Betrieb und Datenübertragung sind für den Prototypen rund € 20.000,- zu veranschlagen und werden sich im Zuge der Entwicklung auf rund 10.000,- für Folge Modelle reduzieren.

5 RANDBEDINGUNGEN, RELEVANTE MESSGRÖSSEN

5.1 Charakterisierung des Gefahrenprozesses

Das Detektionssystem wird grundsätzlich in Bereichen eingesetzt, wo ein für die zu überwachende Infrastruktur gefährlicher Naturgefahrenprozess festgestellt wurde. Dies erfolgt entweder über eine Feststellung im Zuge vorsorglicher laufender Erhebungen oder aufgrund einer dokumentierten Einwirkung, die unmittelbarer Überwachungsanlass ist.

Um ein Detektionssystem zielgerichtet auslegen und einsetzen zu können, sind genaue Kenntnisse über den zu erfassenden Naturgefahrenprozess erforderlich. Diese Kenntnisse können im Zuge einer entsprechenden vor Ort Begutachtung, einer umfangreichen Dokumentation des naturräumlichen Prozessinventars und/oder im Zuge ergänzender Berechnungen (Prozessdynamik, Fels- und Bodenmechanik) durch einen Experten erlangt werden.

Das Detektionssystem kann auf Basis jeder Ebene der Gefahrenfeststellung eingesetzt werden. Gegebenenfalls notwendige, vertiefende Untersuchungen zur Konkretisierung von Warn- und Alarmschwellen sind in jedem Fall empfehlenswert.

5.2 Relevante Messgrößen

5.2.1 Muren

Muren im engeren Sinn sind als wassergebundener Transportprozess zu verstehen, die sich bei einem Wasser/Feststoffgemisch von rund 1:1 und verhältnismäßig hohen Gerinneneigungen bilden. Neben Muren werden auch geschiebebelastete Hochwässer und hochkonzentrierte Abflüsse in den Themenkomplex Wildbachprozesse gestellt. Muren können beträchtliche Blockgrößen transportieren und weisen in vielen Fällen ein, der Bingham'schen Rheologie folgendes Grundfluid auf.

Die maßgeblichen Messgrößen und zugehörigen Sensoren sind folgende:

- (a) **Abflusshöhe** und ihre Variabilität über die Zeit (Pegel)
- (b) **Abflussgeschwindigkeit (Radar)**
- (c) **Bodenerschütterung** als indirektes Maß für die Murdynamik grundsätzlich (Geophon)

- (d) **Niederschlag und Niederschlagssummen** pro Fläche als abflussbestimmende Größe (Ombrometer)
- (e) **Ablösevorgang** aus Beschleunigungsmessung (mittels Bewegungstags)

Abbildung 34 zeigt eine muredynamische Berechnung im Stanzertal mit Visualisierung der Fließhöhe als wesentliches Maß (alpinfra).

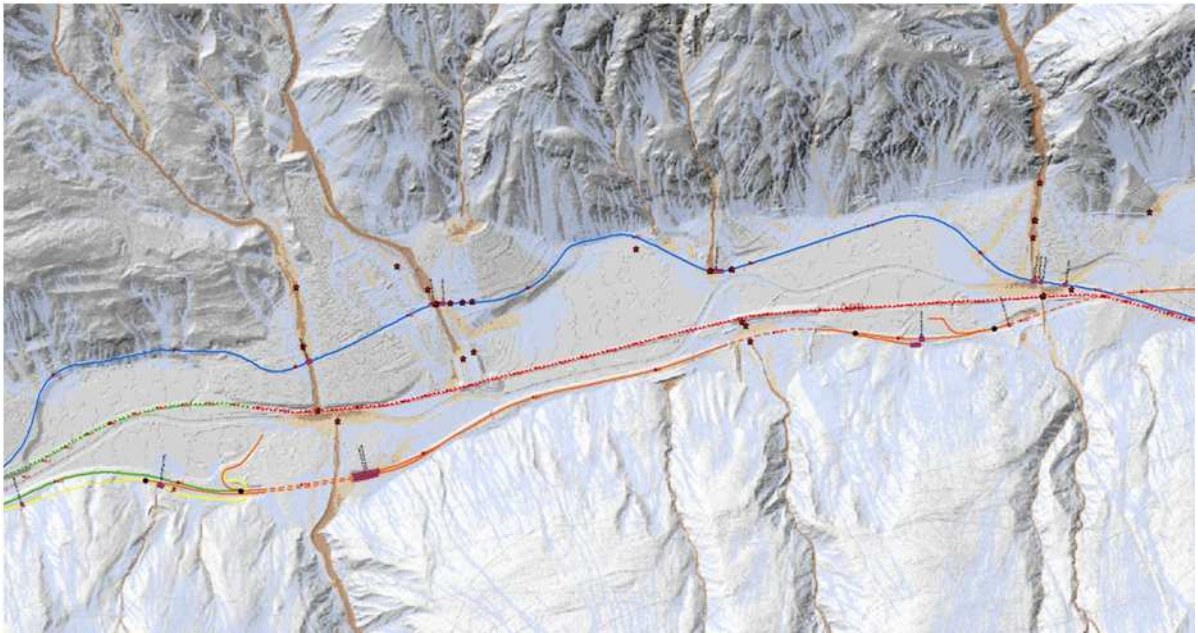


Abbildung 34: Mureinwirkungsanalyse Stanzertal, Szenario 3 (alpinfra 2012)

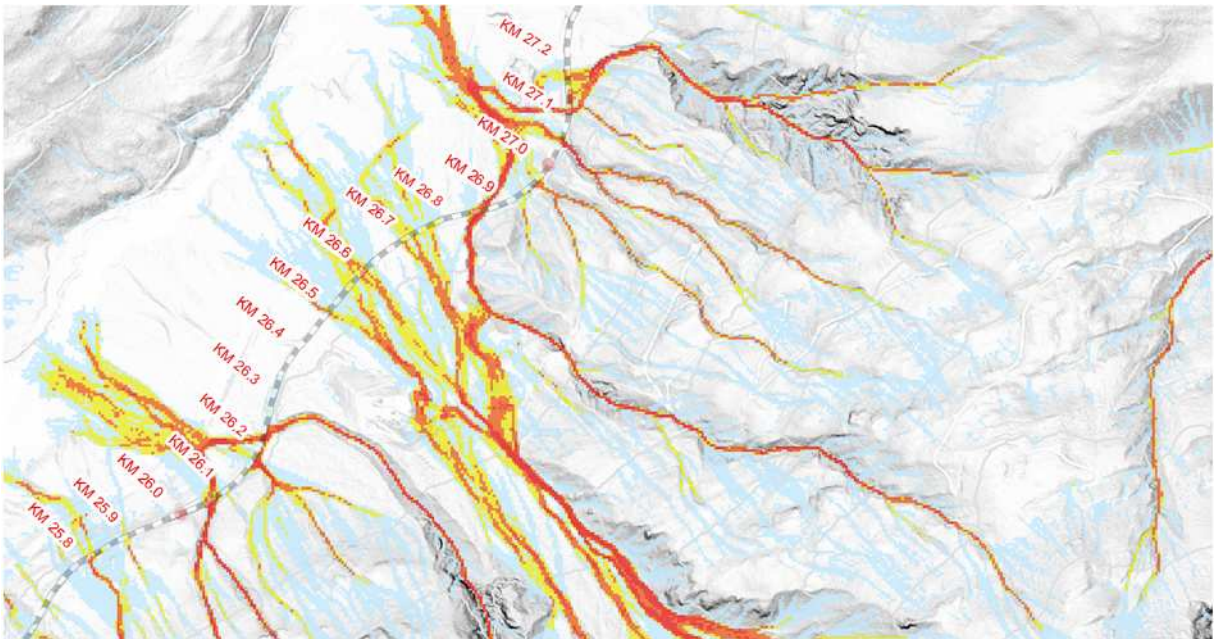


Abbildung 35: Einwirkungssituation Mure zwischen KM 25 und 27 – Fließhöhen (ohne Legende)

5.2.2 Sturzprozesse, Steinschlag und Felsstürze

Im Zuge von Steinschlag- und oder Felssturzereignissen lösen sich Teile von instabilen Felsflanken aufgrund von Kippen, Gleiten, Fallen, Knicken, Die daraus resultierenden Sturzblöcke oder Felsverbände stürzen in der Regel unter mehrmaligem Aufschlagen in der Sturzbahn bis in den Ablagerungsraum, wo die Sturzblöcke aufgrund der bereits geringen Sturzenergie den Widerstand (Reibung und Dämpfung) nicht mehr überwinden können, zu liegen kommen.

Grundsätzlich kann der dabei auftretende Sturzprozess mit dem Energieerhaltungssatz beschrieben werden, wobei die potentielle Energie des Sturzblockes (mgh) in Brucharbeit im Sturzblock sowie in elastische und plastische Deformationsarbeit im Boden der Sturzbahn sowie in weiterer Konsequenz in Wärme- und Schallenergie übergeführt wird.

Die maßgeblichen bzw. erfassbaren Messgrößen sind folgende:

- (a) **Sturzeschwindigkeit** (Dopplerradar)
- (b) **Bodenerschütterung** aus Einschlagereignissen und elastischer Bodendeformation (Geophon)
- (c) **Schall** aus Einschlagereignissen und elastischer Bodendeformation (Richtmikrofon)
- (d) **Ablösevorgang** aus Beschleunigungsmessung (mittels Bewegungstags)

Abbildung 36 zeigt eine steinschlagdynamische Berechnung im Stanzertal mit Visualisierung der Steinschlagkonzentration bzw. bevorzugte Steinschlagbahnen (rot).

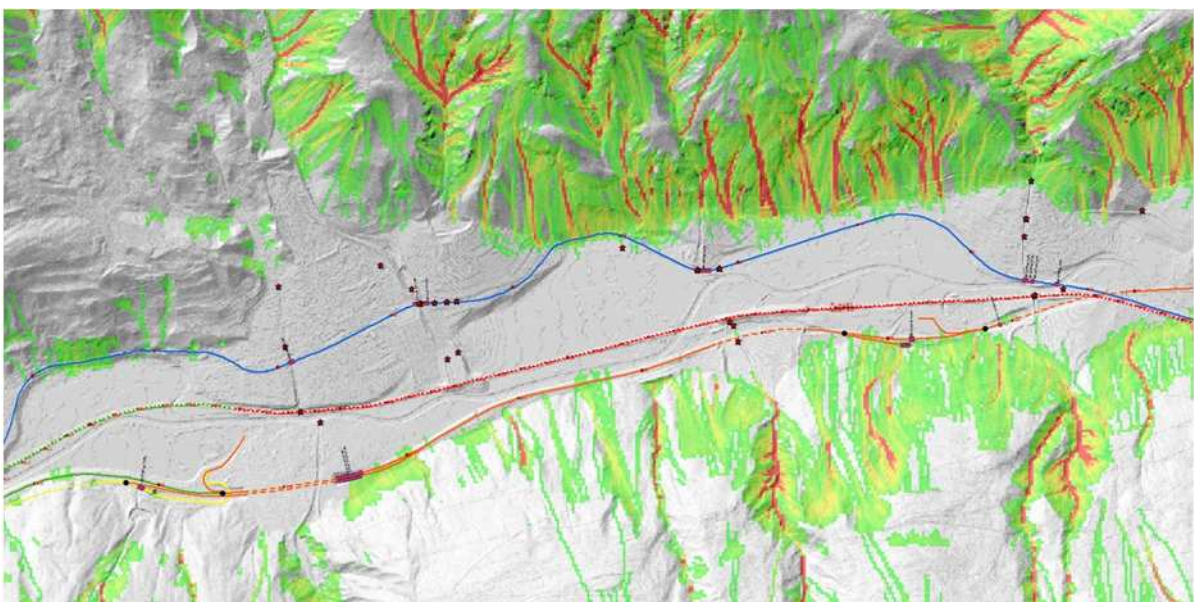


Abbildung 36: Steinschlageinwirkungsanalyse Stanzertal (alpinfra 2012)

5.2.3 Lawinen

Im Zuge von Lawinenereignissen kommt es zur Ablösung von Schneemassen aus einem schneebedeckten Hang, wobei hinsichtlich maßgeblicher Lawineneinwirkungen trockene Schneebrettlawinen (flächiger Anbruch mit diskreter Anbruchfläche) wesentlich erscheinen.

Im Zuge des Transportvorganges kommt es bei entsprechenden Neigungen der Lawinenbahn zum zunehmend turbulenten fließenden der Lawine und ggf. zur Ablösung eines Staubanteils.

Wie alle Transportvorgänge kann auch dieser mit dem Energieerhaltungssatz beschrieben werden. Das Fließ- und Staubverhalten von Lawinen folgt jedoch deutlich komplexeren physikalischen Grundsätzen als dies bei Sturzprozessen der Fall ist. Dennoch treten Widerstandskomponenten auf, deren Widerstandsarbeit nach der vollständigen Ablagerung der Lawine mit der potenziellen Energie der Lawine (im Anbruchgebiet) gleichzusetzen ist. Hier sind Reibung und Deformationsarbeit in der Lawine die maßgeblichen Komponenten. Die Deformationsarbeit im Boden ist zwar untergeordneter Natur jedoch als messtechnisch erfassbare Größe sehr bedeutend.

Die maßgeblichen bzw. erfassbaren Messgrößen sind folgende:

- (a) **Sturzgeschwindigkeit** (Radar)
- (b) **Bodenerschütterung** aus Einschlagereignissen von Schneeakkumulationen am Boden und elastischer Bodendeformation (Geophon)
- (c) **Fließhöhe** (Pegel)
- (d) **Ablösevorgang** aus Beschleunigungsmessung (mittels Bewegungstags)

Abbildung 37 zeigt eine lawinendynamische Berechnung im Stanzertal mit Visualisierung der Fließhöhe.

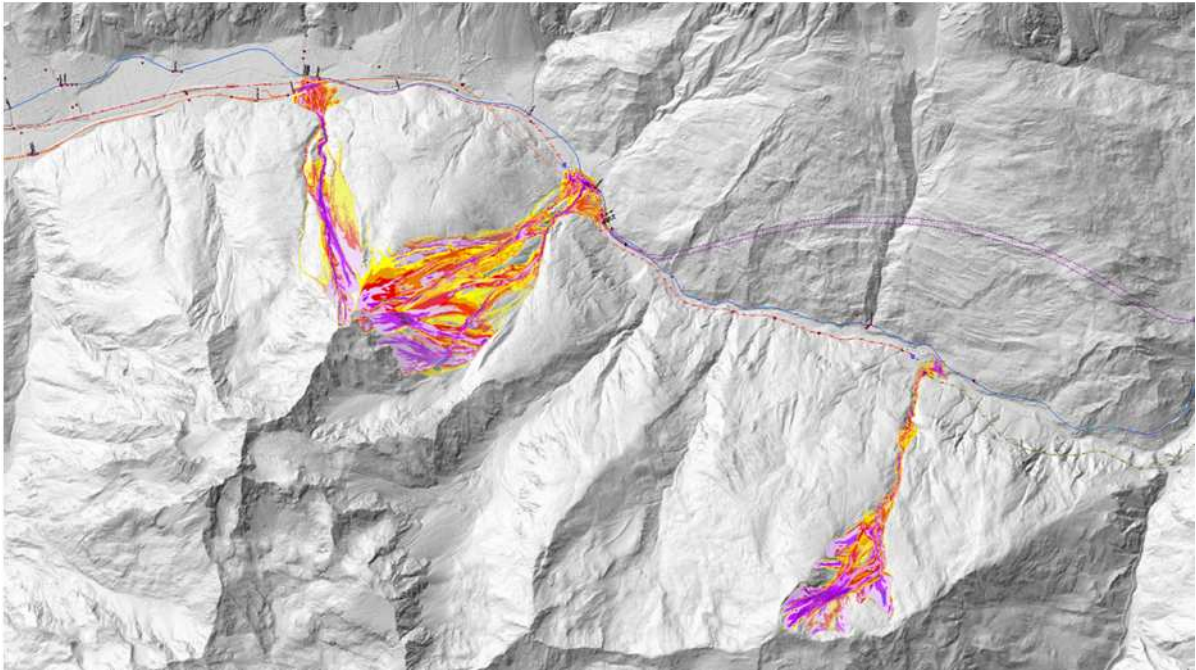


Abbildung 37: Lawineneinwirkungsanalyse T=150 (Risikoanalyse Arlberggrampe, ÖBB, alpinfra 2011)

5.2.4 Hangdeformationen

Instabile Hänge treten in Form von kriechenden (diffuses Bewegungsprofil) und/oder rutschenden (diskrete Gleitfläche) Lockermaterial und Fels auf und können als geologische Massenbewegungen bezeichnet werden. Grundsätzlich und im Kontext mit der gegenständlichen Studie können die Massenbewegungen in zwei Klassen unterschieden werden:

- (a) Ein Teil des Hangkörpers löst sich weitgehend spontan und vollständig ab und bewegt sich in Form eines Sturz- oder Fließprozesses weiter. Die Ablagerung findet im Wesentlichen räumlich deutlich getrennt vom Ablöseort statt. Dazu gehören Steinschlag, Felssturz, Felslawinen oder Hangmuren aufgrund von Böschungsbruch. Hier können im Wesentlichen nur die Bewegung und/oder die Ablagerung bzw. prozessbegleitende Phänomene detektiert werden.
- (b) Der instabile Hang deformiert sich und die Ablagerungsform bleibt mit der Ablösestelle in Verbindung bzw. besteht eine Übergangszone zwischen stabilem und instabilem Hang. Hier ist der messtechnische Fokus auf die kontinuierlichen Überwachung der Deformation und deren Raten bzw. auf die Beobachtung der auslösenden Phänomene zu richten. Bei sehr starker Deformation können sich jedoch Teile ablösen und in Form des Typs beschrieben in (a) auftreten.

Mechanisch gehen Hangdeformationen generell auf die Überschreitung der effektiven Spannungen in Lockermaterialhängen bzw. der Überschreitung der rückhaltenden Kräfte in den Trennflächen von Felsböschungen zurück. Hier spielen Reibung und Kohäsion als

rückhaltende Komponenten sowie die Schwerkraft und Poren- sowie Trennflächenwasserdrücke als „treibende“ Kräfte die Hauptrollen.

Beginnen Hänge sich zu entfestigen treten in der Regel Deformationen ein, welche in Felshängen durch kleine Bruchereignisse angezeigt werden. Diese Mikrobrüche lösen kleinste Erschütterungen aus, die, wenn auch schwierig detektiert werden können. In den meisten Fällen lassen sich beginnende oder in der Rate höher werdende Deformationen mit dem Anstieg des Hangwasserspiegels erklären.

Die maßgeblichen bzw. erfassbaren Messgrößen sind folgende:

- (a) **Deformation** (Brillouin-Kabel bzw. Faseroptik, Extensometer, Tachymeter, Reißdraht)
- (b) **Hangwasserspiegel** (indirekt aus Niederschlag, Pegel bzw. Piezometerpegel)
- (c) **Mikrobeben** (Geophon)
- (d) **Ablösevorgang** aus Beschleunigungsmessung (mittels Bewegungstags)

6 ANALYSE ZUM STAND DER ENTWICKLUNG

Die für die nachfolgenden Kapitel relevante Literatur wird im Sinne der Lesbarkeit am Ende des Dokumentes angeführt (vgl. Kap. 1).

6.1 Sturzprozesse

Im Zuge der Analyse von Sturzprozessen sind in der Regel folgende Analyseschritte erforderlich:

- (a) Auswertung der Luftbilder sowie des digitalen Höhenmodells zur Identifikation von Hinweisen auf Sturzprozesse.
- (b) Durchführen einer Voranalyse auf Hinweisebene zur Identifikation potenzieller Wirkräume mittels eines 3D-Steinschlagtrajektorienmodells.
- (c) Prozesskartierung zur Abgrenzung der Steinschlagablösebereiche, der Transit- und Ablagerungszonen sowie der Aktivitäten. Weiter wurden quantitative Aufnahmen wie Trennflächenabstände und Volumina von Ablagerungsblöcken zur Ermittlung von Blockgrößenverteilungen in geotechnisch homogenen Bereichen durchgeführt. Für nachfolgende Detailberechnungen sind Dämpfungseigenschaften der Untergrundtypen (Felshang, Sturzhalde, Murablagerung, Talboden usw. ...) abzuschätzen.
- (d) Detaileinwirkungsanalyse für relevante Einwirkungsquerschnitte bzw. mit Steinschlag belastete Räume mittels 3D-Steinschlagtrajektoriencode z.B.: aiRockfall3D (Scheikl et. al. 2011), RockyFor3D (Dorren 2011).
- (e) Überprüfung der Berechnungen vor Ort zur Abstimmung der Berechnungsparameter bzw. der Nachprüfung der berechneten Ablagerungsblockgrößen als wesentliches Kriterium der Modellkalibrierung.

6.2 Muren

6.2.1 Prozessanalyse und Modellierung

Im Zuge der Analyse der Murprozesse werden in der Regel folgende Analyseschritte vorgenommen:

- (a) Auswertung der Luftbilder sowie des digitalen Höhenmodells zur Identifikation von Hinweisen auf Murprozesse.
- (b) Durchführen einer Voranalyse auf Hinweisebene zur Identifikation potenzieller Wirkräume mittels des granularen Murmodells z.B. aiDebrisFlow3D (alpinfra).
- (c) Prozesskartierung zur Abgrenzung Murablöse-, der Transit- und Ablagerungszonen. Weiter wurden quantitative Aufnahme durchgeführt wie (a) Korngrößenverteilungen aus digitalen Aufnahmen der Geschiebequellen und Ablagerungen sowie (b) Ansprache der Mobilisierbarkeit (Lagerungsdichte) von Geschiebeherden (c) Abschätzung der mobilisierbaren Geschiebevolumina in geotechnisch homogenen Bereichen.
- (d) Detaileinwirkungsanalyse für relevante Einwirkungsquerschnitte bzw. murbelastete Projekträume mittels des hydraulischen Murabflussmodells aiDebrisFlow3D oder RAMMS unter Einbeziehung diskreter Geschiebeablösebereiche.
- (e) Überprüfung der Berechnungen vor Ort zur Abstimmung der Berechnungsparameter bzw. der Nachprüfung der berechneten Ablagerungsblockgrößen als wesentliches Kriterium der Modellkalibrierung.

6.2.2 Stand der Technik, Detektion

6.2.2.1 Unmittelbare Detektion an gefährdeten Objekten

Hinsichtlich der Detektion von Murereignissen wurden im alpinen Raum verschiedene Systeme getestet, die je nach Fragestellung bzw. Bedarfsträger ausgerichtet wurden. Im Bereich der ÖBB wurden unter anderem Durchlässe und/oder Brückenbauwerke unmittelbar mit Sensoren ausgestattet um möglicherweise stattfindende Einschränkungen im Bereich des Durchflussprofils und die daraus abzuleitende Gefährdung des Bauwerkes feststellen zu können. Hier werden Pegelmessungen per Ultraschall, IR-Videokameras sowie Kippschalter zur Detektion installiert (aus Interview mit Dipl.-Ing. Dirninger / ÖBB Infrastruktur AG). Die Instrumentierung der unmittelbar betroffenen Objekte, welche in letzter Konsequenz bei ansprechen eines Kippschalters per Alarmauslösung für die Nutzung gesperrt werden stellt eine verhältnismäßig „aussagesichere“ Detektionsmethode dar, jedoch steht keine ausreichende Reaktionszeit zur Verfügung um bereits nahe am

Objekt befindliche Fahrzeuge anhalten zu können. Es kann auch vorkommen, dass nur mehr der eintretende Schaden bzw. die Zerstörung des Objektes registriert wird und zwar dann wenn ein großes Ereignis stattfindet, dass zum Beispiel auf einen Bruch einer Verklauung zurückgeht. Im Gefahrenreizugsgebiet, also der Gefahrenquelle finden keine Detektionen statt.

6.2.2.2 Detektion im Gefahrenreizugsgebiet

Für die Beschreibung des Standes der Entwicklung im Bereich der Detektion von Muren im Gefahrenreizugsgebiet ist das Projekt Illgraben voran zustellen, welches auszugweise auf Grundlage der Angaben der WSL wie folgt zu beschreiben ist (Quelle: WSL 2012). Die eingesetzten Messgeräte umfassen Videokameras im unteren Teil des Murkegels um die Beobachtung der Murgänge im Gerinne zu ermöglichen. Weiter bachaufwärts wurden Geophone eingesetzt, welche einerseits die Aufzeichnungen per Video auslösen und andererseits zusammen mit weiteren Geophonen Daten über die Murgänge liefern. Die Abflusstiefe wird mittels Ultraschall und Radar gemessen. Zusätzlich wurden an einer gefährdeten Brücke (Kantonsstrassenbrücke) ein Radarmessgerät, ein Laser sowie weitere Geophone installiert. Eine Murgangwaage, welche in einer Wildbachsperre unter der Kantonsstrassenbrücke eingebaut ist registriert das Gewicht des aktuellen Abflusses. Oberhalb der Brücke befindet sich eine seitliche Messeinrichtung, womit Kräfte sowie ein vertikales Geschwindigkeitsprofil erfasst werden. Drei Niederschlagsmessstationen sind im oberen Teil des Einzugsgebietes installiert. Weitere Messgeräte im Gerinne wie Radarpegel detektieren das Auftreten von Murgängen. Diese Messeinrichtungen sind Teil des Projektes „Notfallkonzept Illgraben“ und laufen parallel zu einem wissenschaftlichen Programm.



Abbildung 38: Radarpegel Illgraben (C. Graf, 2007)

Neben den lokalen Messungen werden nach Graf et. al. (2007) Wetterradardaten für die laufende Beurteilung und Prognose mit in das Überwachungskonzept eingebunden.

Tabelle 3: Übersicht über die Instrumentierung des Illgrabens (aus Graf et. al. 2007)

Bereich	Beschreibung	Typ der Beobachtung	zu beobachten	Frequenz *
1	Gerinne auf dem Kegel (Rhône-Mündung bis Kegelhals)	Begehungen auf der gesamten Gerinnelänge	Zustand der Böschungen und Dämme; Zustand der Betonschwellen und deren Freibord; Höhe des Gerinnebettes;	Monatlich oder nach einem Ereignis
2	Unteres EG (Gerinne und Hänge)	Begehungen; teils entlang Gerinne, teils auf Wegen/Pfaden im EG	Evtl. Seebildung im Gerinne; Seitenhänge/ Uferböschungen; Zustand der Betonschwellen und deren Freibord;	Monatlich oder nach einem Ereignis
3	Oberes EG (Gerinne und Hänge)	Beobachtung (mit Feldstecher/Kamera)	Evtl. Seebildung im Gerinne; Seitenhänge; Schneehöhe; Evtl. Waldzustand;	Alle 14 Tage** oder nach einem Ereignis

* Beobachtungen werden während des Sommerhalbjahres von April bis Oktober durchgeführt
 ** Das Beobachtungsintervall wurde aufgrund der bereits gesammelten Erfahrungswerte der lokalen Beobachter gewählt, resp. angepasst.

6.2.2.3 Berücksichtigung von Abflusscharakteristika

Als Grundlage der Überwachung von Murgärten stellt die möglichst zutreffende Einschätzung der Abflusscharakteristik des Einzugsgebietes einen wesentlichen Faktor dar.

In Abbildung 39 wird für den Masonbach ermittelte Abflussganglinien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Niederschlagsszenarien gezeigt. Aufbauend auf diesen können gemessene Niederschläge (Fernerkundung/Wetterstation) als Grundlage für die Ableitung von eintretenden Muren herangezogen werden. Die berechnete Abflusscharakteristik kann mittels der installierten Sensoren verfolgt werden um die Schwellwertfestlegung aber auch die Modellierung zu kalibrieren.

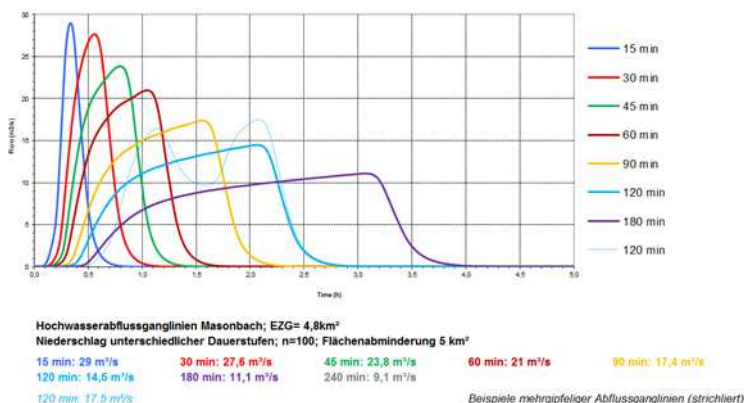


Abbildung 39: Abflussganglinien aus NA-Modellierung Querung Masonbach (alpinfra 2012)

6.3 Lawinen

6.3.1 Prozessanalyse und Modellierung

Die Lawinenanalyse ist grundsätzlich auf drei Säulen aufgebaut. (1) Zum einen sind umfangreiche Erhebungen im Gelände, dazu vorbereitend anhand topographischer Grundlagen, durchzuführen und zwar zu unterschiedlichen Jahreszeiten mit unterschiedlicher Schneedecke; (2) Analyse der Lawinensituation anhand des Lawinenkatasters, lokaler Aufzeichnungen, Unterlagen der WLW bzw. der ÖBB, Straßenämter, sowie Befragung von Personen mit örtlicher Kenntnis zur Lawinensituation (3) Numerische Lawinendynamische Analysen samt Erheben der Grundlagen zur Ermittlung von Schneehöhen.

6.3.2 Detektion von Lawinen

Im Zuge der Recherche wurden im Wesentlichen zwei Messmethoden eruiert. Zum einen werden Lawinenabgänge mittels Dopplerradar vom Gegenhang oder vom Unterhang aus durch die Bestimmung der Frontgeschwindigkeit gemessen bzw. werden maßgebliche differenzielle Bewegungen als Lawinenabgang gewertet (H. Gubler 2000). Zum anderen werden Geophone für die Detektion von Lawinen verwendet. Um die Entwicklung der Lawinengefahr zu beurteilen werden in der Regel Schneehöhenmessungen und vereinzelt Schneefeuchtemessungen durchgeführt, die jedoch schwer in die Fläche übertragbar sind.

6.4 Instabile Hänge und Steinschlag

6.4.1 Charakterisierung

Die Charakterisierung des Bewegungsbildes instabiler Hänge sowohl im lokalen als auch großmaßstäblichen Umfang erfordert in erster Linie eine geologisch-geotechnische Bestandsaufnahme, die im Falle von Felshängen eine gefügekundliche bzw. strukturgeologische Aufnahme und im Falle von Lockermaterialhängen eine Bestimmung der Scherparameter und Wasserdurchlässigkeiten erfordert.

6.4.2 Detektion

Die Detektion instabiler Hänge wurde im Zuge zahlreicher anlassbezogener Überwachungsprojekte gezeigt, wobei hier die Großhangüberwachung Eiblschrofen als jüngstes Projekt anzuführen ist, bei dem eine große Anzahl an unterschiedlichen Sensoren über einen längeren Zeitraum zur Detektion von Bewegungen eingesetzt wurde (Scheikl et.

al. 2000). Die dabei eingesetzte Messtechnik ist in Tabelle 4 angeführt und wird in Abbildung 40 symbolhaft dargestellt.

Weitere Systeme, die zur Überwachung instabiler Hänge eingesetzt werden sind u.a. Inklinometer, die in einem Bohrloch eingebaut werden und über ein Tiefenprofil Auskunft über Deformationen geben. Weiter wurde versucht mittels geoelektrischer Dauermessungen instabile Lockermaterialhänge zu überwachen, in dem der im Zuge von Bewegungen in Scherzonen auftretende Porenraum bzw. der damit sich ändernde Wassergehalt in diesen Zonen detektiert wird.

Im Zuge der gegenständlichen Studie wurde für das Detektionssystem ein Glasfaserkabel vorgesehen, dass über die Anwendung des Raman- und Brillouin-Effektes zur Detektion von Hangdeformationen und Temperaturänderungen herangezogen werden soll. Diese Anwendung wurde für die Messung von Deformationen im konstruktiven Ingenieurbau und Dammbau bereits erfolgreich getestet und kann als Detektionssystem für instabile Hänge eingesetzt werden (Iten et al. 2009; Kapeller 2012). Hangbewegungen wurden ebenfalls bereits erfolgreich im Bereich St. Moritz detektiert.

Tabelle 4: Messtechnische Übersicht – Monitoring Eiblschrofen

Dauerregistrierende Systeme bzw. Dauerbeobachtung
Drahtextensometer (Invardraht)
Glasfaserextensometer (Interferometrie)
Neigungsmesser
Rissmesser (Schwingsaiten)
Geophone
Temperaturmessung
Niederschlagsmessung
Videoüberwachung
Richtmikrophone
Laser-Scanner-Vermessung der Abbruchfront
Regelmäßiges Monitoring in definierten Intervallen
Geodätische Vermessung
GPS-Vermessung
Thermographische Aufnahme mittels Wärmebildkamera

Hydrometrische und hydrochemische Beobachtung von Quellen und Stollenwässern

Manuelle Risskartierung

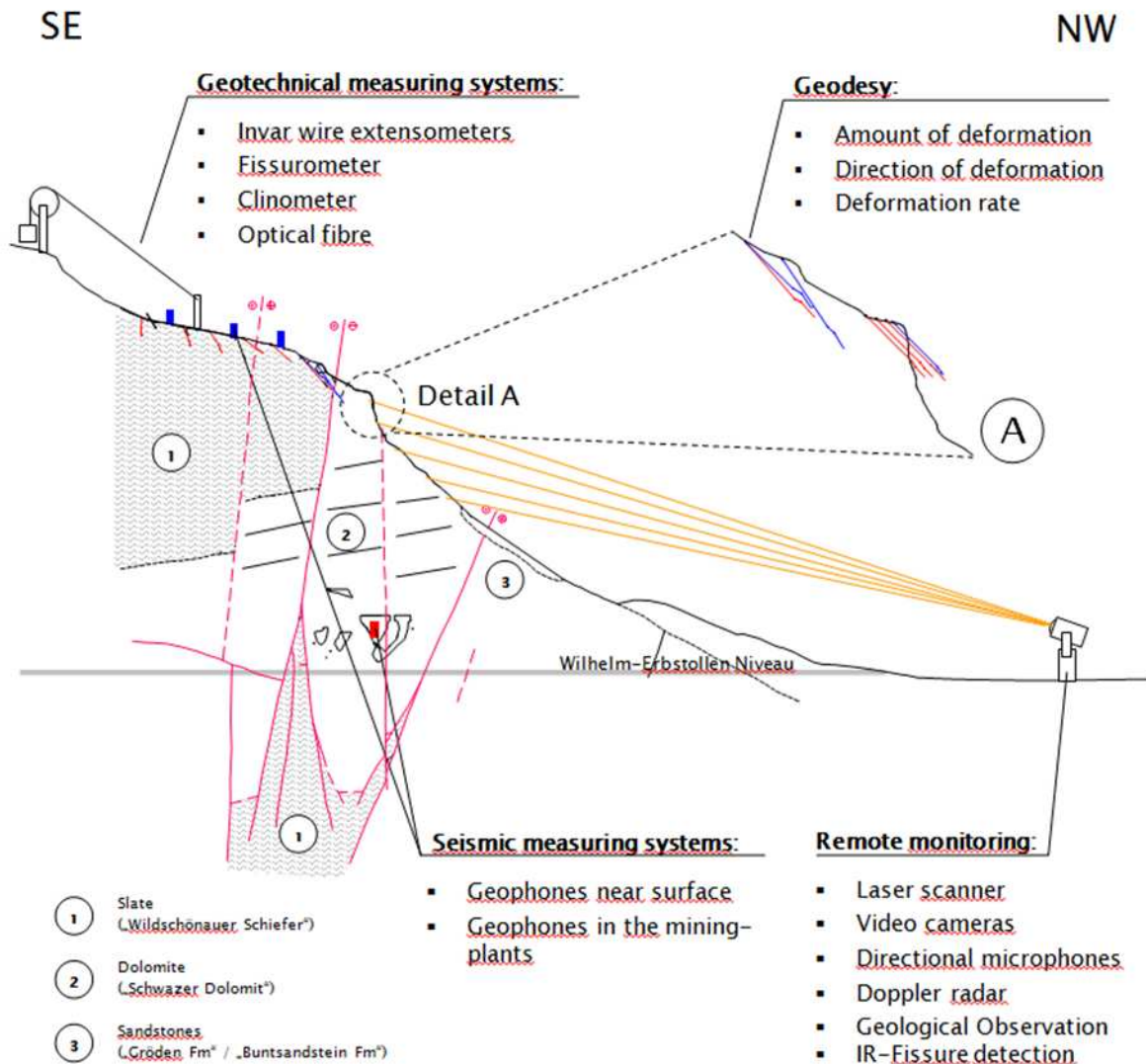


Abbildung 40: Übersicht , Überwachungssysteme Eiblschrofen (verändert nach Scheiki et. al. 2000)

7 KOSTENÜBERSICHT

Im Folgenden werden die Kosten die im Zuge der Erstellung der Machbarkeitsstudie erhoben und aus Angeboten sowie Preislisten, abgestellt an die vorgesehenen Konfigurationen des mobilen, flexiblen Systems, abgeleitet wurden, dargestellt. Die Kosten sind als Kostenschätzung zu verstehen. In der Liste wird auch das Einsatzspektrum angegeben. Werden Sensoren verbaut, ist der Hardwarepool wieder zu ergänzen.

7.1 Hardwarepool und Einsatzspektrum

Tabelle 5: Kostenübersicht Hardwarepool

Hardwarepool insgesamt (für ein komplettes System inkl. Lawine (kein Lawinenradar))						Einsatzbereich - Detektion				
Sensor	Parameter	Auflösung	Kosten [EURO]	Anz.	Summe	Muren	Steinschlag	Hang-deformation	Lawine	Bauwerke generell
Bewegungs- bzw. Erschütterungstags	Bewegung/ Erschütterung	ja/nein	150,00	20	3.000,-	x	x	x	x	x
Datensammler und Datenübertragung Erschütterungstags	Daten	-	4.000,00	1	4.000,-	x	x	x	x	x
Dopplerradarkleinzellen	Fließ-geschwindigkeit	cm/s	800,00	4	3.200,-	x			x	
Faseroptisches Kabel inkl. Befestigungen	Deformation, Temperatur	mm	20,00	200	4.000,-			x	x	x
Laserquelle und Messgerät	Deformation, Temperatur	mm	15.000,00	1	15.000,00			x	x	x
Funkdatenlogger	Daten	-	1.600,00	2	3.200,00	x	x	x	x	x

Hardwarepool insgesamt (für ein komplettes System inkl. Lawine (kein Lawinenradar))						Einsatzbereich - Detektion				
Sensor	Parameter	Auflösung	Kosten [EURO]	Anz.	Summe	Muren	Steinschlag	Hang-deformation	Lawine	Bauwerke generell
Geophon	Beschleunigung	ja/nein	1.200,00	2	2.400,00	x	x		x	x
IR-Video	visuelle Information	ja/nein	1.500,00	2	3.000,00	x	x	x	x	x
Radarpegel mit Montagemittel	Fließhöhe und Höhenänderung	cm/s	2.500,00	2	5.000,00	x				
Reißdraht	Deformation	Ja/nein	1.150,00	2	2.300,00	x		x		
Rissmessgerät	Öffnungsweite	mm	600,00	2	1.200,00			x		
Datenerfassung dezentral und Übertragung zu Alarmeinheit	Daten	-	8.000,00	1	8.000,00	x	x	x	x	x
Detektions- und Alarmeinheit inkl. Versorgung und Datenübermittlungs-modul	Daten/Alarm	-	20.000,00	1	20.000,00	x	x	x	x	x
Dezentrale Versorgung der Sensoren	Energie	-	2.000,00	1	2.000,00	x	x	x	x	x
Einbindung in zentrale Datenerfassung und Visualisierung	Daten, Service, Onlineinfo, Visualisierung	-	3.500,00	1	3.500,00	x	x	x	x	x
Summe Hardwarekosten gesamt, flexibel einsetzbar					76.800,-	59.600,-	49.100,-	69.200,-	71.300,-	68.100,-
					gesamt	M	STS	HDF	LAW	BW

7.2 Sensorgruppe Wetterstation

Tabelle 6: Kosten, Wetterstation

Hardwarepool Wetterstation	
Summe Hardwarekosten Prototyp Steinschlagdetektor	30.000,00

8 LITERATURLISTE

Im Folgenden werden die für die Projektausarbeitung methodisch relevanten Literaturquellen angeführt. Für alle Quellen liegt uns die Kurzfassung und für wesentliche methodische Arbeiten auch die vollständige Publikation vor, die ausgehoben wurden.

8.1 Lawinen, Muren, Rutschungen und Großmassenbewegungen

Agliardi, F., G. Crosta, et al. (2001). "Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics." *Engineering Geology* 59(1-2): 83-102.

Ammann, W. J. (1999). "A new Swiss test-site for avalanche experiments in the Vallée de la Sionne/Valais." *Cold Regions Science and Technology* 30(1-3): 3-11.

Ampferer, O. (1939). „Über einige Formen der Bergzerreiung.“ *Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss.*, 149, 51.

Ampferer, O. (1940). „Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreiungen.“ *Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss., Abt.I*, 149, 1.u.2.H.: 51-70.

Ancey, C., C. Gervasoni, et al. (2004). "Computing extreme avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 161-180.

Apuani, T., M. Masetti, et al. "Stress-strain-time numerical modelling of a deep-seated gravitational slope deformation: Preliminary results." *Quaternary International* 171-172: 80-89.

Bacchini, M., A. Zannoni (2003). "Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy)" *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3: 71–79.

Barbolini, M., U. Gruber, et al. (2000). "Application of statistical and hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites." *Cold Regions Science and Technology* 31(2): 133-149.

Barpi, F. (2004). "Fuzzy modelling of powder snow avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 40(3): 213-227.

Beghin, P. and G. Brugnot (1983). "Contribution of theoretical and experimental results to powder-snow avalanche dynamics." *Cold Regions Science and Technology* 8(1): 67-73.

Beghin, P. and X. Olagne (1991). "Experimental and theoretical study of the dynamics of powder snow avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 19(3): 317-326.

Behncke, B. (2009). "Hazards from pyroclastic density currents at Mt. Etna (Italy)." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 180(2-4): 148-160.

Berti, M., A. Simoni (2005). "Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff" *Landslides* 2 (3): 171–182.

Berthet-Rambaud, P., A. Limam, et al. (2007). "Avalanche action on rigid structures: Back-analysis of Taconnaz deflective walls' collapse in February 1999." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 16-31.

- Bocchiola, D., F. Catalano, et al. (2002). "An analytical-numerical approach to the hydraulics of floating debris in river channels." *Journal of Hydrology* 269(1-2): 65-78.
- Bocchiola, D., M. Medagliani, et al. (2006). "Regional snow depth frequency curves for avalanche hazard mapping in central Italian Alps." *Cold Regions Science and Technology* 46(3): 204-221.
- Brabec, B., R. Meister, et al. (2001). "RAIFoS: Regional Avalanche Information and Forecasting System." *Cold Regions Science and Technology* 33(2-3): 303-311.
- Brückl, E. and J. Brückl (2006). "Geophysical models of the Lesachriegel and Gradenbach deep-seated mass-movements (Schober range, Austria)." *Engineering Geology* 83(1-3): 254-272.
- Brückl, E., A. E. Scheidegger (1972). „The Rheology of Spatially Continuous Mass Creep in Rock.” *Rock Mechanics* 4: 237-250.
- Bründl, M., H.-J. Etter, M. Steiniger, Ch. Klingler, J. Rhyner, W.J. Ammann (2004). „IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland” *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4: 309–313.
- Buchanan, P., K. W. Savigny, et al. (1990). "A method for modeling water tables at debris avalanche headscarps." *Journal of Hydrology* 113(1-4): 61-88.
- Buchroithner, M. F. (1995). "Problems of mountain hazard mapping using spaceborne remote sensing techniques." *Advances in Space Research* 15(11): 57-66.
- Bühler, Y., A. Hüni, et al. (2009). "Automated detection and mapping of avalanche deposits using airborne optical remote sensing data." *Cold Regions Science and Technology* 57(2-3): 99-106.
- Buser, O. (1983). "Avalanche forecast with the method of nearest neighbours: An interactive approach." *Cold Regions Science and Technology* 8(2): 155-163.
- Butler, D. R., G. P. Malanson, et al. (2009). Chapter 4 Geomorphic Patterns and Processes at Alpine Treeline. *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier. Volume 12: 63-84.
- BUWAL (1998). Begriffsdefinitionen zu den Themen: „Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko“.
- BWG (2001). „Hochwasserschutz an Fließgewässern“ Wegleitungen des BWG.
- Cagnoli, B. and F. Quarenì (2009). "Oscillation-induced mobility of flows of rock fragments with quasi-rigid plugs in rectangular channels with frictional walls: A hypothesis." *Engineering Geology* 103(1-2): 23-32.
- Calvo, B. and F. Savi (2009). "A real-world application of Monte Carlo procedure for debris flow risk assessment." *Computers & Geosciences* 35(5): 967-977.
- Campbell, C. and B. Jamieson (2007). "Spatial variability of slab stability and fracture characteristics within avalanche start zones." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 134-147.
- Cappabianca, F., M. Barbolini, et al. (2008). "Snow avalanche risk assessment and mapping: A new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 193-205.

- Chen, S.-C. and S.-H. Peng (2006). "Two-dimensional numerical model of two-layer shallow water equations for confluence simulation." *Advances in Water Resources* 29(11): 1608-1617.
- Cordy, P., D. M. McClung, et al. (2009). "Computer assisted avalanche prediction using electronic weather sensor data." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 227-233.
- Cronin, S. J., V. E. Neall, et al. (1997). "Changes in Whangaehu river lahar characteristics during the 1995 eruption sequence, Ruapehu volcano, New Zealand." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 76(1-2): 47-61.
- Crosta, G. B. and F. Agliardi (2002). "How to obtain alert velocity thresholds for large rockslides." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 27(36): 1557-1565.
- Crosta, G. B., S. Imposimato, et al. (2009). "Numerical modelling of entrainment/deposition in rock and debris-avalanches." *Engineering Geology* 109(1-2): 135-145.
- Curry, A. M. and R. Black (2003). "Structure, sedimentology and evolution of rockfall talus, Mynydd Du, south Wales." *Proceedings of the Geologists' Association* 114(1): 49-64.
- D'Ambrosio, D., S. Di Gregorio, et al. (2002). "Simulating the Curti-Sarno debris flow through cellular automata: the model SCIDDICA (release S2)." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 27(36): 1577-1585.
- D'Ambrosio, D., S. Di Gregorio, et al. (2003). "First simulations of the Sarno debris flows through Cellular Automata modelling." *Geomorphology* 54(1-2): 91-117.
- Davies, T. R. and M. J. McSaveney (2009). "The role of rock fragmentation in the motion of large landslides." *Engineering Geology* 109(1-2): 67-79.
- Davis, R. O. (1992). "Modelling stability and surging in accumulation slides." *Engineering Geology* 33(1): 1-9.
- De Serres, B., A. G. Roy, et al. (1999). "Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds." *Geomorphology* 26(4): 313-335.
- De Toni, S. and P. Scotton (2005). "Two-dimensional mathematical and numerical model for the dynamics of granular avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 43(1-2): 36-48.
- Death, R., M. J. Siegert, et al. (2006). "Modelling iceberg trajectories, sedimentation rates and meltwater input to the ocean from the Eurasian Ice Sheet at the Last Glacial Maximum." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 236(1-2): 135-150.
- Deganutti, A.M., L. Marchi, M. Arattano (2000). "Rainfall and debris-flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps)" in "Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment" Wiezcorek, Naeser (eds.) Balkema, Rotterdam. 67-72.
- Deline, P. (2009). "Interactions between rock avalanches and glaciers in the Mont Blanc massif during the late Holocene." *Quaternary Science Reviews* 28(11-12): 1070-1083.
- Delparte, D., B. Jamieson, et al. (2008). "Statistical runout modeling of snow avalanches using GIS in Glacier National Park, Canada." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 183-192.
- Di Gregorio, S., R. Kongo, et al. (1999). "Mount ontake landslide simulation by the Cellular Automata model SCIDDICA-3." *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy* 24(2): 131-137.

- Dufresne, A. and T. R. Davies (2009). "Longitudinal ridges in mass movement deposits." *Geomorphology* 105(3-4): 171-181.
- Durand, Y., G. Guyomarc'h, et al. (2005). "Improvement of a numerical snow drift model and field validation." *Cold Regions Science and Technology* 43(1-2): 93-103.
- Earl, W. M., G. R. Grey, et al. (1985). "Remote sensing of snow accumulation." *Cold Regions Science and Technology* 11(2): 199-202.
- Eckert, N., E. Parent, et al. (2007). "Hierarchical Bayesian modelling for spatial analysis of the number of avalanche occurrences at the scale of the township." *Cold Regions Science and Technology* 50(1-3): 97-112.
- Eckert, N., E. Parent, et al. (2007). "Revisiting statistical-topographical methods for avalanche predetermination: Bayesian modelling for runout distance predictive distribution." *Cold Regions Science and Technology* 49(1): 88-107.
- Egli, L., T. Jonas, et al. (2009). "Comparison of different automatic methods for estimating snow water equivalent." *Cold Regions Science and Technology* 57(2-3): 107-115.
- Eglit, M. E. and K. S. Demidov (2005). "Mathematical modeling of snow entrainment in avalanche motion." *Cold Regions Science and Technology* 43(1-2): 10-23.
- Evans, S. G., N. F. Bishop, et al. (2009). "A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970." *Engineering Geology* 108(1-2): 96-118.
- Evans, S. G., O. V. Tutubalina, et al. (2009). "Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002." *Geomorphology* 105(3-4): 314-321.
- Evans, S. G., O. Hungr, et al. (2001). "Dynamics of the 1984 rock avalanche and associated distal debris flow on Mount Cayley, British Columbia, Canada; implications for landslide hazard assessment on dissected volcanoes." *Engineering Geology* 61(1): 29-51.
- Evans, S. G., O. V. Tutubalina, et al. (2009). "Catastrophic detachment and high-velocity long-runout flow of Kolka Glacier, Caucasus Mountains, Russia in 2002." *Geomorphology* 105(3-4): 314-321.
- Fagre, D. B. and G. P. M. S. J. W. a. D. B. F. David R. Butler (2009). Chapter 1 Introduction: Understanding the Importance of Alpine Treeline Ecotones in Mountain Ecosystems. *Developments in Earth Surface Processes*, Elsevier. Volume 12: 1-9.
- Faug, T., M. Naaim, et al. (2004). "An equation for spreading length, center of mass and maximum run-out shortenings of dense avalanche flows by vertical obstacles." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 141-151.
- Fierz, C., P. Riber, et al. (2003). "Evaluation of snow-surface energy balance models in alpine terrain." *Journal of Hydrology* 282(1-4): 76-94.
- Floyer, J. and B. Jamieson (2009). "Predicting the fracture character of weak layers from snowpack penetrometer signals." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 185-192.
- Fraccarollo, L. and M. Papa (2000). "Numerical simulation of real debris-flow events." *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(9): 757-763.

- Fyffe, B. and M. Zaiser (2007). "Interplay of basal shear fracture and slab rupture in slab avalanche release." *Cold Regions Science and Technology* 49(1): 26-38.
- Gabet, E. J. and S. M. Mudd (2006). "The mobilization of debris flows from shallow landslides." *Geomorphology* 74(1-4): 207-218.
- Gauer, P., M. Kern, et al. (2007). "On pulsed Doppler radar measurements of avalanches and their implication to avalanche dynamics." *Cold Regions Science and Technology* 50(1-3): 55-71.
- Gauer, P., K. Kronholm, et al. "Can we learn more from the data underlying the statistical [alpha]-[beta] model with respect to the dynamical behavior of avalanches?" *Cold Regions Science and Technology* In Press, Corrected Proof.
- Gauer, P., K. Lied, et al. (2008). "On avalanche measurements at the Norwegian full-scale test-site Ryggfonn." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 138-155.
- Gauer, P., K. Lied, et al. (2009). "Analysis of avalanche measurements out of the runout area of NGI's full-scale test-site Ryggfonn." *Cold Regions Science and Technology* 57(1): 1-6.
- Gauer, P., Z. Medina-Cetina, et al. (2009). "Optimization and probabilistic calibration of avalanche block models." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 251-258.
- Gauthier, D. and B. Jamieson (2008). "Evaluation of a prototype field test for fracture and failure propagation propensity in weak snowpack layers." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 87-97.
- Geertsema, M., J. J. Clague, et al. (2006). "An overview of recent large catastrophic landslides in northern British Columbia, Canada." *Engineering Geology* 83(1-3): 120-143.
- Geertsema, M., O. Hungr, et al. (2006). "A large rockslide-debris avalanche in cohesive soil at Pink Mountain, northeastern British Columbia, Canada." *Engineering Geology* 83(1-3): 64-75.
- Geo-Byte (1999). „NORMBOHR, das Programmsystem zur Bohrungsarchivierung und Darstellung von Bohrprofilen nach ÖNORM.“ Gesellschaft für Analyse, Simulation und Modellierung georelevanter Daten GmbH, Vers. 1.1.
- Geo7 (2000). „Geomorphologie und Geschiebelieferung“ (unveröffentlichter Bericht), Bern.
- Geoplan (2006). „Notfall- und Interventionsplanung Hochwasser“ Steg.
- Ghinoi, A. and C.-J. Chung (2005). "STARTER: a statistical GIS-based model for the prediction of snow avalanche susceptibility using terrain features--application to Alta Val Badia, Italian Dolomites." *Geomorphology* 66(1-4): 305-325.
- Glade, T. (2005). "Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology." *Geomorphology* 66(1-4): 189-213.
- Glenne, B. (1986). "Motion resistance of avalanches on smooth paths." *Cold Regions Science and Technology* 12(2): 115-119.
- Gregoretto, C. (2000). "Experimental evidence from the triggering of debris flow along a granular slope." *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(4): 387-390.

- Gruber Schmid, U. and S. Sardemann (2003). "High-frequency avalanches: release area characteristics and run-out distances." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 439-451.
- Gubler, H. and M. Hiller (1984). "The use of microwave FMCW radar in snow and avalanche research." *Cold Regions Science and Technology* 9(2): 109-119.
- Gubler, H. (2000). "Five years experience with avalanche-, mudflow-, and rockfallalarm systems in Switzerland." *Proc. of ISSW Big Sky, Montana*, 424–432. (http://www.alpug.ch/pdf/pdf_26_en.htm)
- Haefeli, R. (1967). „Zum progressiven Bruch im Schnee, Boden, Fels und Eis.“ *Felsmechanik und Ing.- Geologie* Vol. V/1: 17-37.
- Hauksson, S., M. Pagliardi, et al. (2007). "Laboratory measurements of impact forces of supercritical granular flow against mast-like obstacles." *Cold Regions Science and Technology* 49(1): 54-63.
- Heierli, J. and M. Zaiser (2008). "Failure initiation in snow stratifications containing weak layers: Nucleation of whumpfs and slab avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 52(3): 385-400.
- Hendriks, J., K. Birkeland, et al. (2009). "Assessing changes in the spatial variability of the snowpack fracture propagation propensity over time." *Cold Regions Science and Technology* 56(2-3): 152-160.
- Hermanns, R. L., L. H. Blikra, et al. (2006). "Examples of multiple rock-slope collapses from Köfels (Ötz valley, Austria) and western Norway." *Engineering Geology* 83(1-3): 94-108.
- Hirano, M. (1997). "Prediction of debris flow for warning and evacuation" in: "Recent developments on debris flows" Armanini, A., M. (eds.) Michiue, 7–26.
- Hirashima, H., O. Abe, et al. (2009). "An adjustment for kinetic growth metamorphism to improve shear strength parameterization in the SNOWPACK model." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 169-177.
- Hirashima, H., K. Nishimura, et al. (2008). "Avalanche forecasting in a heavy snowfall area using the snowpack model." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 191-203.
- Hubbard, B. E., M. F. Sheridan, et al. (2007). "Comparative lahar hazard mapping at Volcan Citlaltépetl, Mexico using SRTM, ASTER and DTED-1 digital topographic data." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 160(1-2): 99-124.
- Hübl, H. (1995). „Muren: Prozesse und Ablagerungsformen - Bedeutung für die Gefahrenzonenplanung.“ unveröff. Diss. 211 S., BoKu Wien.
- Hürlimann, M., D. Rickenmann, et al. (2008). "Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment." *Engineering Geology* 102(3-4): 152-163.
- Huggel, C. (2009). "Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation." *Quaternary Science Reviews* 28(11-12): 1119-1130.
- Hürlimann, M., C. Graf, D. Rickenmann, D. Näf, D. Weber (2003). „Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz: Erste Messdaten aus dem Illgraben“ *Phys. Geogr.* 41: 105–116.
- Hungr, O. and S. McDougall (2009). "Two numerical models for landslide dynamic analysis." *Computers & Geosciences* 35(5): 978-992.

- Huppert, H. E., J. S. Turner, et al. (1986). "A laboratory simulation of pyroclastic flows down slopes." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 30(3-4): 179-199.
- Imran, J., P. Harff, et al. (2001). "A numerical model of submarine debris flow with graphical user interface." *Computers & Geosciences* 27(6): 717-729.
- Jakob, M., K. Holm, O. Lange, J.W. Schwab (2006). "Hydrometeorological thresholds for landslide initiation and forest operation shutdowns on the north coast of British Columbia" *Landslides* 3: 228–238.
- Jaedicke, C., M. A. Kern, et al. (2008). "Chute experiments on slushflow dynamics." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 156-167.
- Jamieson, B., T. Geldsetzer, et al. (2001). "Forecasting for deep slab avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 33(2-3): 275-290.
- Jamieson, B., P. Haegeli, et al. (2009). "Field observations for estimating the local avalanche danger in the Columbia Mountains of Canada." *Cold Regions Science and Technology* 58(1-2): 84-91.
- Jamieson, B. and C. D. Johnston (1999). "Snowpack factors associated with strength changes of buried surface hoar layers." *Cold Regions Science and Technology* 30(1-3): 19-34.
- Jamieson, B., J. Schweizer, et al. (2009). "An update on applied snow and avalanche science: Selected papers from the 2008 International Snow Science Workshop." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 103-105.
- Jarman, D. (2006). "Large rock slope failures in the Highlands of Scotland: Characterisation, causes and spatial distribution." *Engineering Geology* 83(1-3): 161-182.
- Johnson, E. A., L. Hogg, et al. (1985). "Snow avalanche frequency and velocity for the Kananaskis Valley in the Canadian Rockies." *Cold Regions Science and Technology* 10(2): 141-151.
- Johnson, P. A., R. H. McCuen, et al. (1991). "Magnitude and frequency of debris flows." *Journal of Hydrology* 123(1-2): 69-82.
- Jomelli, V., C. Delval, et al. (2007). "Probabilistic analysis of recent snow avalanche activity and weather in the French Alps." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 180-192.
- Jomelli, V. and B. Francou (2000). "Comparing the characteristics of rockfall talus and snow avalanche landforms in an Alpine environment using a new methodological approach: Massif des Ecrins, French Alps." *Geomorphology* 35(3-4): 181-192.
- Judson, A., R. M. King, et al. (1986). "Multi-basin avalanche simulation: A model." *Cold Regions Science and Technology* 13(1): 35-47.
- Kern, M. A., F. Tiefenbacher, et al. (2004). "The rheology of snow in large chute flows." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 181-192.
- Keil, K. (1963). „Grundlegende Eigenschaften der Fels- und Festgesteine: Kriterien und Beispiele.“ *Felsmechanik und Ing.-Geologie Vol I/H.3-4*: 206-213.
- Kerr, D. R. (1984). "Early neogene continental sedimentation in the vallecito and fish creek mountains, Western Salton Trough, California." *Sedimentary Geology* 38(1-4): 217-246.

- Keylock, C. J. (2005). "An alternative form for the statistical distribution of extreme avalanche runout distances." *Cold Regions Science and Technology* 42(3): 185-193.
- Kienholz, H. (1996). „Gefahrenkarten: Maßgeblichen Parameter und Kriterien zur Festlegung von Intensitäten.“ *Int. Symp. Interpraevent Bern*, Bd. 3: 47-58.
- Kilburn, C. R. J. and A. Pasuto (2003). "Major risk from rapid, large-volume landslides in Europe (EU Project RUNOUT)." *Geomorphology* 54(1-2): 3-9.
- Klubertanz, G., L. Laloui, et al. (2009). "Identification of mechanisms for landslide type initiation of debris flows." *Engineering Geology* 109(1-2): 114-123.
- Kronholm, K. and J. Schweizer (2003). "Snow stability variation on small slopes." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 453-465.
- Kuo, C. Y., Y. C. Tai, et al. (2009). "Simulation of Tsaoiling landslide, Taiwan, based on Saint Venant equations over general topography." *Engineering Geology* 104(3-4): 181-189.
- Laatsch, W., W. Grottenthaler (1972). „Typen der Massenverlagerung in den Alpen und ihre Klassifikation.“ *Forstwissensch. Centralblatt*, 91.Jg.(H.6): 309-339.
- Landry, C., K. Birkeland, et al. (2004). "Variations in snow strength and stability on uniform slopes." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 205-218.
- Legros, F. (2002). "The mobility of long-runout landslides." *Engineering Geology* 63(3-4): 301-331.
- Lehning, M., P. Bartelt, et al. (2002). "A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation." *Cold Regions Science and Technology* 35(3): 169-184.
- Lehning, M., P. Bartelt, et al. (2002). "A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part II. Snow microstructure." *Cold Regions Science and Technology* 35(3): 147-167.
- Lehning, M., P. Bartelt, et al. (1999). "model calculations for avalanche warning based upon a new network of weather and snow stations." *Cold Regions Science and Technology* 30(1-3): 145-157.
- Lehning, M. and C. Fierz (2008). "Assessment of snow transport in avalanche terrain." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 240-252.
- Lichtenhahn, C. (1971). „Zwei Betonmauern: die Geschieberückhaltssperre am Illgraben (Wallis).“ in: F.f.v. Hochwasserbekämpfung (ed.) *International Symposium Interpraevent*: 451–456.
- Lopez Meza, S., A. C. Garrabrants, et al. (2008). "Comparison of the release of constituents from granular materials under batch and column testing." *Waste Management* 28(10): 1853-1867.
- Louchet, F. (2000). "A simple model for dry snow slab avalanche triggering." *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science* 330(12): 821-827.
- Macedonio, G. and M. T. Pareschi (1992). "Numerical simulation of some lahars from Mount St. Helens." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 54(1-2): 65-80.

- Maggioni, M. and U. Gruber (2003). "The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 407-419.
- Manville, V. and J. D. L. White (2003). "Incipient granular mass flows at the base of sediment-laden floods, and the roles of flow competence and flow capacity in the deposition of stratified bouldery sands." *Sedimentary Geology* 155(1-2): 157-173.
- Manzella, I. and V. Labiouse (2009). "Flow experiments with gravel and blocks at small scale to investigate parameters and mechanisms involved in rock avalanches." *Engineering Geology* 109(1-2): 146-158.
- Margreth, S. and M. Funk (1999). "Hazard mapping for ice and combined snow/ice avalanches -- two case studies from the Swiss and Italian Alps." *Cold Regions Science and Technology* 30(1-3): 159-173.
- Margreth, S. and A. Roth (2008). "Interaction of flexible rockfall barriers with avalanches and snow pressure." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 168-177.
- Mauß, O. (1958). „Handbuch der Geomorphologie.“
- McArdell, B.W., A. Badoux (2004). "Analysis of debrisflows triggering rainfall events in the Illgraben" (in Vorbereitung).
- McClung, D. M. and A. I. Mears (1991). "Extreme value prediction of snow avalanche runout." *Cold Regions Science and Technology* 19(2): 163-175.
- Medina, V., A. Bateman, et al. (2008). "A 2D finite volume model for debris flow and its application to events occurred in the Eastern Pyrenees." *International Journal of Sediment Research* 23(4): 348-360.
- Meunier, M., C. Ancey, et al. (2004). "Fitting avalanche-dynamics models with documented events from the Col du Lautaret site (France) using the conceptual approach." *Cold Regions Science and Technology* 39(1): 55-66.
- Miles, S. B. and D. K. Keefer (2009). "Evaluation of CAMEL -- comprehensive areal model of earthquake-induced landslides." *Engineering Geology* 104(1-2): 1-15.
- Moon, V., J. Bradshaw, et al. (2009). "Geomorphic development of White Island Volcano based on slope stability modelling." *Engineering Geology* 104(1-2): 16-30.
- Morelli, S., V. H. G. Monroy, et al. "The Tancitaro Debris Avalanche: Characterization, propagation and modeling." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* In Press, Accepted Manuscript.
- Moro, F., T. Faug, et al. "Large mobility of dry snow avalanches: Insights from small-scale laboratory tests on granular avalanches of bidisperse materials." *Cold Regions Science and Technology* In Press, Corrected Proof.
- Moser, M. and F. Hohensinn (1983). "Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions." *Engineering Geology* 19(3): 185-211.
- Moser, M. (1996). „Hangstabilitäten; Klassifikation – Kartierung - Prognose.“ Seminarunterlagen zum Int. Symp. Interpretation.
- Muñoz-Salinas, E., M. Castillo-Rodríguez, et al. (2009). "Lahar flow simulations using LAHARZ program: Application for the Popocatepetl volcano, Mexico." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 182(1-2): 13-22.

- Müller, L. (1963). „Die Standfestigkeit von Felsböschungen als spezifisch geomechanische Aufgabe.“ *Felsmechanik und Ing.-Geologie* Vol.I/1: 50-71.
- Murcia, H. F., M. F. Sheridan, et al. "TITAN2D simulations of pyroclastic flows at Cerro Machín Volcano, Colombia: Hazard implications." *Journal of South American Earth Sciences* 29(2): 161-170.
- Nishimura, K., E. Baba, et al. (2005). "Application of the snow cover model SNOWPACK to snow avalanche warning in Niseko, Japan." *Cold Regions Science and Technology* 43(1-2): 62-70.
- Nittrouer, C. A. (1999). "STRATAFORM: overview of its design and synthesis of its results." *Marine Geology* 154(1-4): 3-12.
- Palacios, D., R. García, et al. (2003). "Debris flows in a weathered granitic massif: Sierra de Gredos, Spain." *CATENA* 51(2): 115-140.
- Pariseau, W. G. (1980). "A simple mechanical model for rockslides and avalanches." *Engineering Geology* 16(1-2): 111-123.
- Patra, A. K., A. C. Bauer, et al. (2005). "Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 139(1-2): 1-21.
- Patra, A. K., C. C. Nichita, et al. (2006). "Parallel adaptive discontinuous Galerkin approximation for thin layer avalanche modeling." *Computers & Geosciences* 32(7): 912-926.
- Pellegrini, G. B. and N. Surian (1996). "Geomorphological study of the Fadalto landslide, Venetian Prealps, Italy." *Geomorphology* 15(3-4): 337-350.
- Pérez, F. L. (2001). "Matrix granulometry of catastrophic debris flows (December 1999) in central coastal Venezuela." *CATENA* 45(3): 163-183.
- Pierce, T. L. and D. A. Crown (2003). "Morphologic and topographic analyses of debris aprons in the eastern Hellas region, Mars." *Icarus* 163(1): 46-65.
- Pirulli, M. (2009). "The Thurwieser rock avalanche (Italian Alps): Description and dynamic analysis." *Engineering Geology* 109(1-2): 80-92.
- Perla, R., T. M. H. Beck, et al. (1982). "The shear strength index of alpine snow." *Cold Regions Science and Technology* 6(1): 11-20.
- Perla, R., K. Lied, et al. (1984). "Particle simulation of snow avalanche motion." *Cold Regions Science and Technology* 9(3): 191-202.
- Phillips, M. and J. Schweizer (2007). "Effect of mountain permafrost on snowpack stability." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 43-49.
- Pielmeier, C. and H.-P. Marshall (2009). "Rutschblock-scale snowpack stability derived from multiple quality-controlled SnowMicroPen measurements." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 178-184.
- Pielmeier, C. and J. Schweizer (2007). "Snowpack stability information derived from the SnowMicroPen signal." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 102-107.
- Pirulli, M. (2009). "The Thurwieser rock avalanche (Italian Alps): Description and dynamic analysis." *Engineering Geology* 109(1-2): 80-92.

PLANAT (2004). „Strategie Naturgefahren Schweiz“ Synthesebericht, Bern.

Platzer, K., P. Bartelt, et al. (2007). "Basal shear and normal stresses of dry and wet snow avalanches after a slope deviation." *Cold Regions Science and Technology* 49(1): 11-25.

Poisel, R., W. Eppensteiner (1988). „Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 1: Geomechanik des Systems „Hart auf Weich“.“ *Felsbau* 6(4): 189-194.

Poisel, R., W. Eppensteiner (1989). „Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“.“ *Felsbau* 7(1): 16-20.

Primus, M., F. Naaim-Bouvet, et al. (2004). "Physical modeling of the interaction between mounds or deflecting dams and powder snow avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 257-267.

Prochaska, A. B., P. M. Santi, et al. (2008). "Debris-flow runout predictions based on the average channel slope (ACS)." *Engineering Geology* 98(1-2): 29-40.

Prokop, A. (2008). "Assessing the applicability of terrestrial laser scanning for spatial snow depth measurements." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 155-163.

Purves, R. S., K. W. Morrison, et al. (2003). "Nearest neighbours for avalanche forecasting in Scotland--development, verification and optimisation of a model." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 343-355.

Rammer, L., M. A. Kern, et al. (2007). "Comparison of avalanche-velocity measurements by means of pulsed Doppler radar, continuous wave radar and optical methods." *Cold Regions Science and Technology* 50(1-3): 35-54.

Rice, R., R. Decker, et al. (2002). "Avalanche hazard reduction for transportation corridors using real-time detection and alarms." *Cold Regions Science and Technology* 34(1): 31-42.

Rickenmann, D. (1990). "Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes." *Mitt. VAW* 103: 249 S.

Rickenmann, D. (1995). „Beurteilung von Murgängen, Schweiz.“ *Ingenieur und Architekt* 113(48): 1104–1108.

Rickenmann, D., M. Zimmermann (1992). „The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis“ *Geomorphology* 8: 175–189.

Rickenmann, D., M. Hürlimann, C. Graf, D. Näf, D. Weber (2001). „Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz“ *Wasser Energie Luft* 93 (1/2): 1–8.

Salciarini, D., C. Tamagnini, et al. "Discrete element modeling of debris-avalanche impact on earthfill barriers." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* In Press, Accepted Manuscript.

Salm, B. (2004). "A short and personal history of snow avalanche dynamics." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 83-92.

Sampl, P., F. Naaim-Bouvet, et al. (2004). "Interaction between dams and powder avalanches: determination of simple friction laws for shallow water avalanche models." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 115-131.

Samuelson, J., C. Marone, et al. (2008). "Laboratory investigation of the frictional behavior of granular volcanic material." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 173(3-4): 265-279.

- Satyawali, P. K., M. Schneebeli, et al. (2009). "Preliminary characterization of Alpine snow using SnowMicroPen." *Cold Regions Science and Technology* 55(3): 311-320.
- Schaffhauser, A., M. Adams, et al. (2008). "Remote sensing based retrieval of snow cover properties." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 164-175.
- Schweizer, J. (1999). "Review of dry snow slab avalanche release." *Cold Regions Science and Technology* 30(1-3): 43-57.
- Schweizer, J. (2008). "Snow avalanche formation and dynamics." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 153-154.
- Schweizer, J. and S. Bellaire "On stability sampling strategy at the slope scale." *Cold Regions Science and Technology* In Press, Corrected Proof.
- Schweizer, J., S. Bellaire, et al. (2006). "Evaluating and improving the stability predictions of the snow cover model SNOWPACK." *Cold Regions Science and Technology* 46(1): 52-59.
- Schweizer, J. and J. B. Jamieson (2003). "Snowpack properties for snow profile analysis." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 233-241.
- Schweizer, J., K. Kronholm, et al. (2008). "Review of spatial variability of snowpack properties and its importance for avalanche formation." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 253-272.
- Schweizer, J., K. Kronholm, et al. (2003). "Verification of regional snowpack stability and avalanche danger." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 277-288.
- Schweizer, J., I. McCammon, et al. (2008). "Snowpack observations and fracture concepts for skier-triggering of dry-snow slab avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 112-121.
- Schweizer, J., C. Mitterer, et al. (2009). "On forecasting large and infrequent snow avalanches." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 234-241.
- Schweizer, J. and T. Wiesinger (2001). "Snow profile interpretation for stability evaluation." *Cold Regions Science and Technology* 33(2-3): 179-188.
- Seemann, U. (1978). "Snow sedimentation -- Diagenesis and avalanches: A correlation with sedimentary rocks." *Sedimentary Geology* 21(3): 189-204.
- Shen, Y. and P. Diplas (2008). "Application of two- and three-dimensional computational fluid dynamics models to complex ecological stream flows." *Journal of Hydrology* 348(1-2): 195-214.
- Sheridan, M. F., A. J. Stinton, et al. (2005). "Evaluating Titan2D mass-flow model using the 1963 Little Tahoma Peak avalanches, Mount Rainier, Washington." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 139(1-2): 89-102.
- Simenhois, R. and K. W. Birkeland (2009). "The Extended Column Test: Test effectiveness, spatial variability, and comparison with the Propagation Saw Test." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 210-216.
- Singh, A. and A. Ganju (2004). "A supplement to nearest-neighbour method for avalanche forecasting." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 105-113.

- Sosio, R., G. B. Crosta, et al. (2008). "Complete dynamic modeling calibration for the Thurwieser rock avalanche (Italian Central Alps)." *Engineering Geology* 100(1-2): 11-26.
- Sovilla, B., S. Margreth, et al. (2007). "On snow entrainment in avalanche dynamics calculations." *Cold Regions Science and Technology* 47(1-2): 69-79.
- Sovilla, B., M. Schaer, et al. (2008). "Measurements and analysis of full-scale avalanche impact pressure at the Vallée de la Sionne test site." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 122-137.
- Spreitzhofer, G., C. Fierz, et al. (2004). "SN_GUI: a graphical user interface for snowpack modeling." *Computers & Geosciences* 30(8): 809-816.
- Springman, S.M., C. Jommi, P. Teysseire (2003). „Instabilities on moraine slopes induced by loss of suction: a case history” *Géotechnique* 53(1): 3–10.
- Stevens, N. F., V. Manville, et al. (2003). "The sensitivity of a volcanic flow model to digital elevation model accuracy: experiments with digitised map contours and interferometric SAR at Ruapehu and Taranaki volcanoes, New Zealand." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 119(1-4): 89-105.
- Stoffel, M. "Magnitude-frequency relationships of debris flows -- A case study based on field surveys and tree-ring records." *Geomorphology* 116(1-2): 67-76.
- Straub, D. and A. Grêt-Regamey (2006). "A Bayesian probabilistic framework for avalanche modelling based on observations." *Cold Regions Science and Technology* 46(3): 192-203.
- Sun, Q., G. Wang, et al. (2009). "Some open problems in granular matter mechanics." *Progress in Natural Science* 19(5): 523-529.
- Szymczak, S., M. Bollschweiler, et al. "Debris-flow activity and snow avalanches in a steep watershed of the Valais Alps (Switzerland): Dendrogeomorphic event reconstruction and identification of triggers." *Geomorphology* 116(1-2): 107-114.
- Takeuchi, Y., K. Yamanoi, et al. (2003). "Velocities for the dry and wet snow avalanches at Makunosawa valley in Myoko, Japan." *Cold Regions Science and Technology* 37(3): 483-486.
- Teyseire, P., L. Cortona, S.M. Springman (2000). "Water retention in a steep moraine slope during periods of heavy rain" in: "Proceedings of Unsaturated Soils for Asia" Rahardjo, H., D. Toll, C. (eds.) Leong: 831–836.
- Teyseire, Candolfi (2003). „Schutzkonzept Illgraben“ (unveröffentlichter Bericht), Visp.
- Teufelsbauer, H. (2009). "Linking laser scanning to snowpack modeling: Data processing and visualization." *Computers & Geosciences* 35(7): 1481-1490.
- Thibert, E., D. Baroudi, et al. (2008). "Avalanche impact pressure on an instrumented structure." *Cold Regions Science and Technology* 54(3): 206-215.
- Thompson, N., M. R. Bennett, et al. "Development of characteristic volcanic debris avalanche deposit structures: New insight from distinct element simulations." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* In Press, Corrected Proof.
- Tiefenbacher, F. and M. A. Kern (2004). "Experimental devices to determine snow avalanche basal friction and velocity profiles." *Cold Regions Science and Technology* 38(1): 17-30.

- Ui, T., H. Yamamoto, et al. (1986). "Characterization of debris avalanche deposits in Japan." *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 29(1-4): 231-243.
- Vallet, J., B. Turnbull, et al. (2004). "Observations on powder snow avalanches using videogrammetry." *Cold Regions Science and Technology* 39(2-3): 153-159.
- van Herwijnen, A., S. Bellaire, et al. (2009). "Comparison of micro-structural snowpack parameters derived from penetration resistance measurements with fracture character observations from compression tests." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 193-201.
- van Herwijnen, A. and B. Jamieson (2005). "High-speed photography of fractures in weak snowpack layers." *Cold Regions Science and Technology* 43(1-2): 71-82.
- Vinken, R. (1981). „Darstellungsverfahren.“ - [in:] Bender F. [Hrsg.] *Angewandte Geowissenschaften*. Bd.1, Kap. 1.3: 42ff.
- Voight, B. and J. Sousa (1994). "Lessons from Ontake-san: A comparative analysis of debris avalanche dynamics." *Engineering Geology* 38(3-4): 261-297.
- Voss, H., D. Morgenstern (1997). „Interoperable Geowissenschaftliche Informationssysteme (IOGIS).“ *Geo-Informationssysteme*, Jg. 10, H. 6: 5-8.
- Wang, G., K. Sassa, et al. (2003). "Downslope volume enlargement of a debris slide-debris flow in the 1999 Hiroshima, Japan, rainstorm." *Engineering Geology* 69(3-4): 309-330.
- Wassmer, P., J. L. Schneider, et al. (2004). "Effects of the internal structure of a rock-avalanche dam on the drainage mechanism of its impoundment, Flims sturzstrom and Ilanz paleo-lake, Swiss Alps." *Geomorphology* 61(1-2): 3-17.
- Werner, P. (1985). „La végétation de Finges et de son Rhône sauvage“ in: *Bull. de la Murithienne* 103: 39–84.
- Wieczorek, G. F. (1987). "Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California." in: "Debris Flows/Avalanches: Process, recognition, and mitigation" Costa, J. E., G. F. (eds.) *Wieczorek, Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology* 7: 93–104.
- Wiles, G. C. and P. E. Calkin (1992). "Reconstruction of a debris-slide-initiated flood in the southern Kenai Mountains, Alaska." *Geomorphology* 5(6): 535-546
- Winkler, K. and J. Schweizer (2009). "Comparison of snow stability tests: Extended column test, rutschblock test and compression test." *Cold Regions Science and Technology* 59(2-3): 217-226.
- WSL (2001). „Simulation des Fliessverhaltens“ (unveröffentlichter Bericht), Birmensdorf.
- Yanlong, W. and H. Maohuan (1986). "An outline of avalanches in China." *Cold Regions Science and Technology* 13(1): 11-18.
- Zimmermann, M., P. Mani, P. Gamma (1997). „Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz“ vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Schlussbericht NFP 31.
- Zischinsky, U. (1967). „Bewegungsbilder instabiler Talflanken.“ *Mitt.Ges.Geol.Bergbaustud.*, 17.Bd.: 127-168, 7 Abb., 7 Taf.
- Zischinsky, U. (1969). „Über Sackungen.“ *Rock Mechanics* Vol.1: 30-52.

Zischinsky, U. (1969). "Über Bergzerreißung und Talzuschub." *Geol.Rdsch.*, Bd.58, H.3: 974-983.

8.2 Sturzprozesse

Abellán, A., J. M. Vilaplana, et al. (2006). "Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain)." *Engineering Geology* 88(3-4): 136-148.

An, B. and D. D. Tannant (2007). "Discrete element method contact model for dynamic simulation of inelastic rock impact." *Computers & Geosciences* 33(4): 513-521.

Antoniou, A. A. and E. Lekkas "Rockfall susceptibility map for Athinios port, Santorini Island, Greece." *Geomorphology* In Press, Corrected Proof.

Ayew, T. and G. Barbieri (2005). "Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia." *Engineering Geology* 77(1-2): 1-15.

Bertran, P. (2003). "The rock-avalanche of February 1995 at Claix (French Alps)." *Geomorphology* 54(3-4): 339-346.

Bourrier, F., L. Dorren, et al. (2009). "Toward objective rockfall trajectory simulation using a stochastic impact model." *Geomorphology* 110(3-4): 68-79.

Budetta, P. and A. Santo (1994). "Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania (southern Italy): A case study." *Engineering Geology* 36(3-4): 197-210.

Budetta, P., A. Santo, et al. (2008). "Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach." *Geomorphology* 94(3-4): 340-352.

Chiessi, V., M. D'Orefice, et al. "Geological, geomechanical and geostatistical assessment of rockfall hazard in San Quirico Village (Abruzzo, Italy)." *Geomorphology* In Press, Corrected Proof.

Chough, S. K., K. S. Jeong, et al. (1985). "Zoned facies of mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan)." *Marine Geology* 65(1-2): 113-125.

Copons, R. and J. M. Vilaplana (2008). "Rockfall susceptibility zoning at a large scale: From geomorphological inventory to preliminary land use planning." *Engineering Geology* 102(3-4): 142-151.

Cossart, E., R. Braucher, et al. (2008). "Slope instability in relation to glacial debuttrussing in alpine areas (Upper Durance catchment, southeastern France): Evidence from field data and ¹⁰Be cosmic ray exposure ages." *Geomorphology* 95(1-2): 3-26.

Curry, A. M. and R. Black (2003). "Structure, sedimentology and evolution of rockfall talus, Mynydd Du, south Wales." *Proceedings of the Geologists' Association* 114(1): 49-64.

Delhomme, F., M. Mommessin, et al. (2007). "Simulation of a block impacting a reinforced concrete slab with a finite element model and a mass-spring system." *Engineering Structures* 29(11): 2844-2852.

Deline, P. (2009). "Interactions between rock avalanches and glaciers in the Mont Blanc massif during the late Holocene." *Quaternary Science Reviews* 28(11-12): 1070-1083.

- Di Crescenzo, G. and A. Santo "High-resolution mapping of rock fall instability through the integration of photogrammetric, geomorphological and engineering-geological surveys." *Quaternary International* 171-172: 118-130.
- Dorren, L. K. A., B. Maier, et al. (2004). "Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps." *Geomorphology* 57(3-4): 151-167.
- Dorren, L. K. A. and A. C. Seijmonsbergen (2003). "Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale." *Geomorphology* 56(1-2): 49-64.
- El-Mossallamy, Y., H. Z. Al Abideen, et al. (2005). Chapter 33 Geotechnical measures to increase the stability of rock cuts and to reduce rockfall hazards: Case history "Makkah". Elsevier Geo-Engineering Book Series, Elsevier. Volume 3: 947-964.
- Eposito, E., S. Porfido, et al. (2000). "Landslides and other surface effects induced by the 1997 Umbria-Marche seismic sequence." *Engineering Geology* 58(3-4): 353-376.
- Ferrara, V. and G. Pappalardo (2005). "Kinematic analysis of rock falls in an urban area: the case of Castelmola hill near Taormina (Sicily, Italy)." *Geomorphology* 66(1-4): 373-383.
- Fratini, P., G. Crosta, et al. (2008). "Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches." *Geomorphology* 94(3-4): 419-437.
- Frayssines, M. and D. Hantz (2006). "Failure mechanisms and triggering factors in calcareous cliffs of the Subalpine Ranges (French Alps)." *Engineering Geology* 86(4): 256-270.
- Gude, M. and D. Barsch (2005). "Assessment of geomorphic hazards in connection with permafrost occurrence in the Zugspitze area (Bavarian Alps, Germany)." *Geomorphology* 66(1-4): 85-93.
- Guzzetti, F., G. Crosta, et al. (2002). "STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls." *Computers & Geosciences* 28(9): 1079-1093.
- Harris, C. and A. E. Scott (2007). PERIGLACIAL LANDFORMS | Slope Deposits and Forms. *Encyclopedia of Quaternary Science*. Oxford, Elsevier: 2207-2217.
- Holm, K., M. Bovis, et al. (2004). "The landslide response of alpine basins to post-Little Ice Age glacial thinning and retreat in southwestern British Columbia." *Geomorphology* 57(3-4): 201-216.
- Jibson, R. W., E. L. Harp, et al. (2006). "Large rock avalanches triggered by the M 7.9 Denali Fault, Alaska, earthquake of 3 November 2002." *Engineering Geology* 83(1-3): 144-160.
- Jomelli, V. and B. Francou (2000). "Comparing the characteristics of rockfall talus and snow avalanche landforms in an Alpine environment using a new methodological approach: Massif des Ecrins, French Alps." *Geomorphology* 35(3-4): 181-192.
- Lan, H., C. Derek Martin, et al. (2007). "RockFall analyst: A GIS extension for three-dimensional and spatially distributed rockfall hazard modeling." *Computers & Geosciences* 33(2): 262-279.
- Lan, H., C. D. Martin, et al. "Rockfall hazard analysis using LiDAR and spatial modeling." *Geomorphology* In Press, Corrected Proof.

- Liu, R. Z., J. R. Ni, et al. (2006). "Rapid zonation of abrupt mass movement hazard: Part II: Applications." *Geomorphology* 80(3-4): 226-235.
- Luckman, B. H. and A. E. Scott (2007). PERIGLACIAL LANDFORMS, ROCK FORMS | Talus Slopes. *Encyclopedia of Quaternary Science*. Oxford, Elsevier: 2242-2249.
- Lunina, O. V., Y. B. Radziminovich, et al. (2007). "Gravity effects caused by moderate earthquakes: role of local fault pattern." *Russian Geology and Geophysics* 48(7): 610-613.
- Margreth, S. and A. Roth (2008). "Interaction of flexible rockfall barriers with avalanches and snow pressure." *Cold Regions Science and Technology* 51(2-3): 168-177.
- Marzorati, S., L. Luzi, et al. (2002). "Rock falls induced by earthquakes: a statistical approach." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22(7): 565-577.
- Matsuoka, N. (2008). "Frost weathering and rockwall erosion in the southeastern Swiss Alps: Long-term (1994-2006) observations." *Geomorphology* 99(1-4): 353-368.
- Matsuoka, N. and H. Sakai (1999). "Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods." *Geomorphology* 28(3-4): 309-328.
- Mejía-Navarro, M., E. E. Wohl, et al. (1994). "Geological hazards, vulnerability, and risk assessment using GIS: model for Glenwood Springs, Colorado." *Geomorphology* 10(1-4): 331-354.
- Menéndez Duarte, R. and J. Marquínez (2002). "The influence of environmental and lithologic factors on rockfall at a regional scale: an evaluation using GIS." *Geomorphology* 43(1-2): 117-136.
- Mikos, M., M. Brilly, et al. (2006). "Strug landslide in W Slovenia: A complex multi-process phenomenon." *Engineering Geology* 83(1-3): 22-35.
- Mikos, M., R. Fazarinc, et al. (2006). "Sediment production and delivery from recent large landslides and earthquake-induced rock falls in the Upper Soca River Valley, Slovenia." *Engineering Geology* 86(2-3): 198-210.
- Moreiras, S. M. (2006). "Frequency of debris flows and rockfall along the Mendoza river valley (Central Andes), Argentina: Associated risk and future scenario." *Quaternary International* 158(1): 110-121.
- Moya, J., J. Corominas, et al. "Tree-ring based assessment of rockfall frequency on talus slopes at Solà d'Andorra, Eastern Pyrenees." *Geomorphology* In Press, Corrected Proof.
- Ni, J. R., R. Z. Liu, et al. (2006). "Rapid zonation of abrupt mass movement hazard: Part I. General principles." *Geomorphology* 80(3-4): 214-225.
- Nyssen, J., J. Poesen, et al. (2006). "Processes and rates of rock fragment displacement on cliffs and scree slopes in an amba landscape, Ethiopia." *Geomorphology* 81(3-4): 265-275.
- Okura, Y., H. Kitahara, et al. (2000). "The effects of rockfall volume on runout distance." *Engineering Geology* 58(2): 109-124.
- Paronuzzi, P. and W. Serafini (2009). "Stress state analysis of a collapsed overhanging rock slab: A case study." *Engineering Geology* 108(1-2): 65-75.

- Perret, S., M. Stoffel, et al. (2006). "Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss Prealps--A dendrogeomorphological case study." *Geomorphology* 74(1-4): 219-231.
- Poisel, R., W. Eppensteiner (1988). "A contribution to the systematics of rock mass movements." - *LANDSLIDES - Proceedings of the fifth Intern. Symp. on Landslides*: 1353-1357.
- Prior, D. B. and E. H. Doyle (1985). "Intra-slope canyon morphology and its modification by rockfall processes, U.S. Atlantic continental margin." *Marine Geology* 67(1-2): 177-196.
- Rochet, L. (1988). "The application of numerical models propagation to the study of rock falls." *Computers and Geotechnics* 6(1): 67-67.
- Santi, P. M., C. P. Russell, et al. (2009). "Modification and statistical analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System." *Engineering Geology* 104(1-2): 55-65.
- Sasiharan, N., B. Muhunthan, et al. (2006). "Numerical analysis of the performance of wire mesh and cable net rockfall protection systems." *Engineering Geology* 88(1-2): 121-132.
- Sass, O. (2006). "Determination of the internal structure of alpine talus deposits using different geophysical methods (Lechtaler Alps, Austria)." *Geomorphology* 80(1-2): 45-58.
- Sass, O. and M. Krautblatter (2007). "Debris flow-dominated and rockfall-dominated talus slopes: Genetic models derived from GPR measurements." *Geomorphology* 86(1-2): 176-192.
- Scheidegger, A. E. (1984). "A review of recent work on mass movements on slopes and on rock falls." *Earth-Science Reviews* 21(4): 225-249.
- Schneuwly, D. M. and M. Stoffel (2008). "Spatial analysis of rockfall activity, bounce heights and geomorphic changes over the last 50 years - A case study using dendrogeomorphology." *Geomorphology* 102(3-4): 522-531.
- Schrott, L., G. Hufschmidt, et al. (2003). "Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley fill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany." *Geomorphology* 55(1-4): 45-63.
- Schweigl, J., C. Ferretti, et al. (2003). "Geotechnical characterization and rockfall simulation of a slope: a practical case study from South Tyrol (Italy)." *Engineering Geology* 67(3-4): 281-296.
- Seijmonsbergen, A. C., M. P. Woning, et al. (2005). "The failure mechanism of a Late Glacial Sturzstrom in the Subalpine Molasse (Leckner Valley, Vorarlberg, Austria)." *Geomorphology* 66(1-4): 277-286.
- Shu, S., B. Muhunthan, et al. (2005). "Snow loads on wire mesh and cable net rockfall slope protection systems." *Engineering Geology* 81(1): 15-31.
- Shu, S., B. Muhunthan, et al. (2005). "Load testing of anchors for wire mesh and cable net rockfall slope protection systems." *Engineering Geology* 79(3-4): 162-176.
- Stoffel, M. and S. Perret (2006). "Reconstructing past rockfall activity with tree rings: Some methodological considerations." *Dendrochronologia* 24(1): 1-15.
- Stoffel, M., D. Schneuwly, et al. (2005). "Analyzing rockfall activity (1600-2002) in a protection forest--a case study using dendrogeomorphology." *Geomorphology* 68(3-4): 224-241.

Sturzenegger, M., M. Sartori, et al. (2007). "Regional deterministic characterization of fracture networks and its application to GIS-based rock fall risk assessment." *Engineering Geology* 94(3-4): 201-214.

Toshioka, T., T. Tsuchida, et al. (1995). "Application of GPR to detecting and mapping cracks in rock slopes." *Journal of Applied Geophysics* 33(1-3): 119-124.

Turconi, L., S. Kumar De, et al. "Slope failure and related processes in the Mt. Roccamelone area (Cenischia Valley, Western Italian Alps)." *Geomorphology* 114(3): 115-128.

Wasowski, J. and V. Del Gaudio (2000). "Evaluating seismically induced mass movement hazard in Caramanico Terme (Italy)." *Engineering Geology* 58(3-4): 291-311.

Wayne, W. J. (1999). "The Alemania rockfall dam: A record of a mid-holocene earthquake and catastrophic flood in northwestern Argentina." *Geomorphology* 27(3-4): 295-306.

Wichmann, V., T. Heckmann, et al. (2009). "A new modelling approach to delineate the spatial extent of alpine sediment cascades." *Geomorphology* 111(1-2): 70-78.

Williams, M. J. and A. T. Williams (1988). "The perception of, and adjustment to, rockfall hazards along the Glamorgan Heritage Coast, Wales, United Kingdom." *Ocean and Shoreline Management* 11(4-5): 319-339.

Messtechnik und Monitoring

Aleotti, P. (2004). "A warning system for rainfall-induced shallow failures" *Engineering Geology* 73: 247–265.

Abellán, A., J. Calvet, et al. "Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring." *Geomorphology* In Press, Accepted Manuscript.

Chen, C.-Y., T.-C. Chen, F.-C. Yu, W. H. Yu, C.-C. Tseng (2005). "Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring" *Environmental geology* 47: 715–724.

Genevois, R., P.R. Tecca, M. Berti, A. Simoni (2000). "Debris-flow in the Dolomites: Experimental data from a monitoring system" in: "Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment" Wiezcorek, Naeser (eds.) Balkema, Rotterdam. 283–291.

Harris, C., L. U. Arenson, et al. (2009). "Permafrost and climate in Europe: Monitoring and modelling thermal, geomorphological and geotechnical responses." *Earth-Science Reviews* 92(3-4): 117-171.

Hürlimann, M., D. Rickenmann, C. Graf (2003). "Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps" *Can. Geotech. J.* 40: 161–175.

Itakura, Y., H. Inaba, T. Sawada (2005). "A debris-flow monitoring devices and methods bibliography" *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 971–977.

Iten M., F. Ravet, M. Niklés et al. (2009). "Soil-Embedded Fiber Optic Strain Sensors for Detection of Differential Soil Displacements" 4th International Conference on Structural Health Monitoring on Intelligent Infrastructure, 22. - 24. July 2009, Zurich, Switzerland.

Kapeller, G. (xxx). „Bestimmung der verteilten Fließprozesse und Rutschbewegungen im Alpenin Gelände mit Hilfe der verteilten faseroptischen Messungen“ Dissertation, Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck, in press.

Keefer, D.K., R.C. Wilson, R.K. Mark, E.E. Brabb, W.M. Brown, S.D. Ellen, E.L. Harp, G.F. Wieczorek, C.S. Alger, R.S. Zatzkin (1987). “Real-Time Landslide Warning During Heavy Rainfall” *Science* 238: 921–925.

Litschi, M. (2005). „Kombination von Radar und Pluviometerdaten zu stündlichen Niederschlagsfeldern für die Schweiz. Validierung und klimatologische Auswertung.“ Diplomarbeit am IACETH, ETH Zürich. (http://www.iac.ethz.ch/doc/publications/litschi_diplomathesis_2005.pdf)

Marchi, L., M. Arattano, A.M. Deganutti (2002). “Ten years of debrisflow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps)” *Geomorphology* 46: 1–17.

Romang, H., C. Hegg, M. Gerber, N. Hilker, F. Dufour, J. Rhyner (2007). „IFKIS-Hydro: Informations- und Warnsystem für hydrologische Naturgefahren.“ *Wasser Energie Luft*, Jg. 99, Nr.1/2. Heft 2, diese Ausgabe.

Rhyner, J., C. Hegg (2006). “Warning Systems for Hydrological Hazards in Small Catchments” in: *Proceedings of the International Disaster Reduction Conference, Davos, Switzerland, 27 August– 1 September 2006*: 909–912.

Scheikl, M. et. al. (2000). „Multidisciplinary Monitoring Demonstrated in the Case Study of the Eiblschrofen Rockfall” *Felsbau* 1(1): 24-28.

Scheikl, M., G. Poscher, H. Grafinger (2000). „Application of the new automatic laser remote monitoring system (ALARM), for the continuous observation of the mass movement at the Eiblschrofen rock fall area – Tyrol.” *Workshop on Advances Techniques for the Assessment of Natural Hazards in Mountain Areas*.

Scheikl, M., G. Prasicek, V. Rachoy (2008). “3D-Snow-Cover Monitoring by using terrestrial Long Range Laserscanners” *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-03248.

Sensornet (2010). "Dtss User Manual" Sensornet - The Sensing Advantage, United Kingdom.

Sensornet (2011). "Dtss Specifications" Sensornet, United Kingdom.

Suriñach, E., F. Sabot, et al. (2000). "Study of seismic signals of artificially released snow avalanches for monitoring purposes." *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 25(9): 721-727.

Zvelebil, J. and M. Moser (2001). "Monitoring based time-prediction of rock falls: Three case-histories." *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26(2): 159-167.

8.3 Webapplikationen

Asche, H. (2001). „Kartographische Informationsverarbeitung in Datennetzen - Prinzipien, Produkte, Perspektiven.“ 1. Auflage.

Bartelme, N. (2005). „Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen.“ 4. Auflage.

Bill, R. (2010). „Grundlagen der Geo-Informationssysteme.“ 5. Auflage.

DeLange, N. (2006). „Geoinformatik in Theorie und Praxis.“ 2. Auflage.

Fürpaß, C. (2001). "Mapserver als Hilfsmittel zur Datenvisualisierung im Internet - Erläutert anhand des Internetprojektes AtOS, der Internetversion des 'Atlas Ost- und Südeuropa'." Diplomarbeit, Universität Wien.

Hake, G., D. Grünreich, L. Meng (2002). „Kartographie.“ 8. Auflage.

Jansen, M., T. Adams (2010). „OpenLayers - Webentwicklung mit dynamischen Karten und Geodaten.“ 1. Auflage.

Koch, S. (2009). „JavaScript - Einführung, Programmierung und Referenz - inklusive Ajax.“ 5. Auflage.

Lerdorf, R., K. Tatroe, P. MacIntyre (2006). „Programmieren mit PHP - Dynamische Webseiten erstellen.“ 2. Auflage.

Münz, S. (2008). „Webseiten professionell Erstellen - Programmierung, Design und Administration von Webseiten.“ 3. Auflage.

Scherbaum, A. (2009). „PostgreSQL - Datenbankpraxis für Anwender, Administratoren und Entwickler.“ 1. Auflage.

9 VERZEICHNISSE

9.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messbox mit Touchscreen, Innenleben Datenerfassung, Verarbeitung, Alarmierung.....	11
Abbildung 2: Anordnung der Messdatenerfassung und Alarmkette.....	11
Abbildung 4: Skizze zu Mess-, Alarm- und Serviceebene am Beispiel Murdetektion	15
Abbildung 5: Datenfluss Sensoren - dezentrale Datenerfassungs- und Alarmierungseinheit.....	19
Abbildung 6: Datenfluss - dezentrale Datenerfassungs- und Alarmierungseinheit.....	19
Abbildung 7: Beispielapplikation Naturgefahrenmonitor Stanzertal, Basisoberfläche (alpinfra 2012).....	23
Abbildung 8: Beispielapplikation Naturgefahrenmonitor Stanzertal – Murwarnung.....	24
Abbildung 9: Aktivierung der Daten einer Sensorgruppe (Niederschlag + Schneehöhe per Mausklick.....	27
Abbildung 10: Aktivierung der Daten einer Sensorgruppe (hier Schneehöhenstation) per Mausklick.....	28
Abbildung 11: Neuschneeprognose infra::wetter / UBIMET.....	29
Abbildung 12: Niederschlagsprognose infra::wetter / UBIMET.....	30
Abbildung 13: Temperaturprognose infra::wetter / UBIMET	31
Abbildung 15: Kabelloser günstiger Kleinbewegungssensor (~3x10cm).....	34
Abbildung 14: Mur-, Steinschlag-, Lawinengeophon	34
Abbildung 16: Radarpegel für Murüberwachung.....	36
Abbildung 17: Handelsübliche IR-Videoüberwachungskamera mit Ton.....	37
Abbildung 18: Standbild der Murüberwachungsanlage Illgraben (Quelle WSL),	37
Abbildung 19: Dopplerradarmesszelle sowie Impulsmessgerät - Murgeschwindigkeit	38
Abbildung 20: Bestimmung des Streupunktes über die Laufzeit des Lasersignals	40
Abbildung 21: Schematisches Spektrum des reflektierten Streusignals samt relevantem Anteil des jeweiligen Messsystems.....	41
Abbildung 22: Dehnungsausbreitung entlang der Kabelachse (Kapeller, 2012 in press)....	42
Abbildung 23: Mögliche Bodenanker	42
Abbildung 24: Schematischer Versuchsaufbau – Rohrsystem um Faktor 7 überhöht (Kapeller)	43
Abbildung 25: Ausgangs-, Mittel- und Endposition des Rohrsystems (Kapeller)	43
Abbildung 26: Dehnungsverlauf am simulierten Rutschkörper für die ersten 10 cm Verschiebung (Kapeller)	44
Abbildung 27: Konzeptioneller horizontaler und vertikaler Einbau der Glasfaserkabel samt Bodenanker	44

Abbildung 28: Anwendungsbeispiel Rutschhangüberwachung St. Moritz (aus Iten et. al. 2009).....	45
Abbildung 29: Anwendungsbeispiel Rutschhangüberwachung St. Moritz (aus Puzrin et. al. 2008).....	45
Abbildung 30: Einbau-, Mess- und Datenübertrag, Faseroptische Deformationsmessung .	46
Abbildung 31: Rissmesser mit Montagebolzen (Potentiometer oder Schwingsaitensensor / Interfels).....	47
Abbildung 32: Skizze zur Überwachung eines instabilen Felshanges	50
Abbildung 33: Erschütterungstags zur Impactdetektion an Schutzzäunen.....	51
Abbildung 34: Funktionsschaubild Funkdatenlogger	65
Abbildung 35: Mureinwirkungsanalyse Stanzertal, Szenario 3 (alpinfra 2012)	67
Abbildung 13: Einwirkungssituation Mure zwischen KM 25 und 27 – Fließhöhen (ohne Legende)	67
Abbildung 36: Steinschlageinwirkungsanalyse Stanzertal (alpinfra 2012)	68
Abbildung 37: Lawineneinwirkungsanalyse T=150 (Risikoanalyse Arlberggrampe, ÖBB, alpinfra 2011)	70
Abbildung 38: Radarpegel Illgraben (C. Graf, 2007)	74
Abbildung 39: Abflussganglinien aus NA-Modellierung Querung Masonbach (alpinfra 2012)	75
Abbildung 40: Übersicht , Überwachungssysteme Eiblschrofen (verändert nach Scheikl et. al. 2000).....	78

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht generelle Sensoren und deren Einsatzmöglichkeit	13
Tabelle 2: Zusammenfassung der wesentlichen Eigenschaften der DTS und DTSS (Sensornet, 2010), (Sensornet, 2011)	40
Tabelle 3: Übersicht über die Instrumentierung des Illgrabens (aus Graf et. al. 2007).....	75
Tabelle 4: Messtechnische Übersicht – Monitoring Eiblschrofen.....	77
Tabelle 5: Kostenübersicht Hardwarepool	79
Tabelle 6: Kosten, Wetterstation.....	81