

Titel des Projektes

RISKCAST

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

ERGEBNISBERICHT

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
Marktplatz 5
5163 Mattsee



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:

Manfred SCHEIKL (alpinfra)
David POWELL (alpinfra)

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	Einführung.....	6
1.1	Projektinitiative.....	6
1.2	Ausgangslage.....	6
1.3	Ziele.....	6
1.4	Generelle Beschreibung des Prototypen.....	7
1.5	Prototypentest.....	8
2	Systemübersicht.....	9
2.1	Sensoren.....	9
2.2	Datenerfassungs- und Datenübermittlungseinheit.....	10
2.3	Mobilisierbarkeit.....	10
3	Systembeschreibung.....	11
3.1	SYSBOX-PT01.....	11
3.1.1	Ausstattung.....	11
3.1.2	Datenlogger.....	12
3.1.3	Datenfernübertragung.....	12
3.1.4	Energieversorgung.....	13
4	Sensoren.....	15
4.1	Geophon.....	15
4.1.1	Anwendung.....	15
4.1.2	Messprinzip.....	15
4.1.3	Sensor.....	15
4.2	Radar-Pegelsensor.....	17
4.2.1	Anwendung.....	17
4.2.2	Messprinzip.....	17
4.2.3	Sensor.....	17
4.2.4	Datenformat.....	17
4.3	Dopplerradarsensor.....	18
4.3.1	Anwendung.....	18
4.3.2	Messprinzip.....	18
4.3.3	Sensor.....	18
4.3.4	Datenformat.....	18
4.4	Reißdrahtsensor und Kippschalter.....	19
4.4.1	Anwendung.....	19
4.4.2	Messprinzip.....	19
4.4.3	Sensor.....	20
4.4.4	Datenformat.....	20
4.5	Wegaufnahmesensoren.....	21

4.5.1	Anwendung	21
4.5.2	Messprinzip	21
4.5.3	Sensor	22
4.5.4	Datenformat	22
4.5.5	Zusatzmodul	22
4.6	Onlinevideo	23
4.7	Onlinesystem	23
5	Testläufe	26
5.1	Test Solarmodul	26
5.2	Test Murdetektion mittels Geophonen	26
5.3	Geophontest für Steinschlagdetektion	31
5.3.1	Geophontest ohne Schutzbauwerke	31
5.3.2	Testinstrumentierung eines Steinschlagschutznetzes	32
5.4	Test Radarpegel	34
5.5	Tests Dopplerradar Sensor	35
5.6	Test Reißdrahtsensor	36
5.7	Test Hangüberwachung	36
6	Schluss	39
7	Literaturliste	40
7.1	Lawinen, Muren, Rutschungen und Großmassenbewegungen	40
7.2	Sturzprozesse	54
7.3	Webapplikationen	59
8	Verzeichnisse	61
8.1	Abbildungsverzeichnis	61
8.2	Tabellenverzeichnis	62

1 EINFÜHRUNG

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 und nach positiver Beurteilung der Studie mit der Entwicklung eines Prototypen beauftragt.

Der gegenständliche Ergebnisbericht behandelt die Arbeiten zur Entwicklung des Prototypen bzw. dessen Beschreibung.

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 war die Entwicklung eines autarken, ortsflexiblen und mobilen Detektionssystems zur möglichst frühzeitigen Erkennung von Einwirkungen aus Naturgefahrenprozessen auf Infrastrukturanlagen.

1.4 Generelle Beschreibung des Prototypen

Der Prototyp trägt den Namen *SYSBOX-PT01*.

Der Prototyp wurde für die Erfassung aller relevanten Naturgefahrenprozesse ausgelegt und ist in der Lage folgende Einwirkungen zu detektieren:

- Steinschlag und Felssturz
- Lawine
- Mure
- Hangbewegungen wie Kriechvorgänge oder Rutschungen
- Erdbeben

Der Prototyp wurde mit den wesentlichen, dazu erforderlichen Sensoren erstausgestattet. Eine Komponentenbeschreibung wird in den entsprechenden Kapiteln angeführt.

Das Detektionssystem besteht in erster Linie aus einer dezentralen Datenerfassungs- und Datenübermittlungseinheit. Für den Prototyp wurde dazu ein handelsüblicher wasserdichter und Stoßfester Kunststoffkoffer verwendet. Diese Einheit wird in weiterer Folge als Datenbox bezeichnet. Die Datenbox wurde so ausgelegt, dass eine Vielzahl an unterschiedlichen Sensoren angebundener werden kann. Die Stromversorgung wird durch einen leistungsfähigen Akku sowie einer Solarstromversorgung sichergestellt. Elektronische Zusatzbauteile sorgen für eine geregelte bzw. konstante Spannungsversorgung und die Anbindung der erforderlichen Sensoren.

Die Herstellung des Detektionssystems als elektromechanisches System unterliegt gewerberechtlichen Bestimmungen und darf nur von dazu befugten Zusammengestellt und installiert werden. Das gegenständliche System wurde dahingehend vom Unternehmen SYSDECT Mechatronics GmbH zusammengestellt und auch alle elektronischen Sonderkomponenten wurden von der Fa. SYSDECT GmbH gefertigt.



Abbildung 1: Innen- und Außenansicht des mobilen Detektionssystems im Testeinsatz

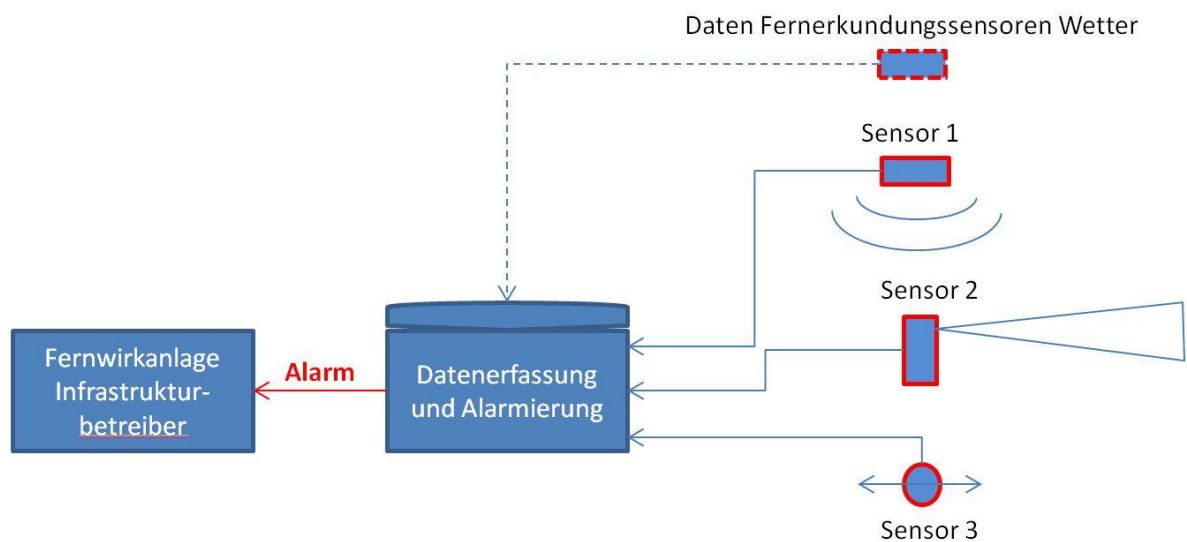


Abbildung 2: Anordnung der Messdatenerfassung und Alarmkette

1.5 Prototypentest

Die Sensoren und die Datenbox wurden intensiven und ausgedehnten Testeinsätzen unterzogen. Im Zuge der Testeinsätze wurden zahlreiche zusätzlich erforderliche Module erkannt und das System wurde Zug um Zug zur Einsatzreife weiter entwickelt. Es wurden bisher Tests für die Detektion von (a) Steinschlag und Felssturz (b) Muren und (c) Instabile Hänge durchgeführt. Wenngleich die Prototypentwicklung ursprünglich nicht auf Lawinen ausgerichtet war wurde ein Einsatztest für Lawinen vorbereitet und soll außerhalb des Projektes in der Saison 2014/2015 stattfinden. Dazu ist geplant einen Folgeprototypen zusammenzustellen, den *SYSBOX-PT02*.

2 SYSTEMÜBERSICHT

2.1 Sensoren

Im Zuge der Projektumsetzung und als Ergebnis umfangreicher Tests und Kostenbewertungen wurden folgende Sensoren an den Prototyp angebunden:

Tabelle 1: Übersicht Prototyp-Sensoren und deren Einsatzmöglichkeit

Hardwarepool insgesamt (für einen Prototyp flexibel einsetzbar)		
Sensor	Parameter	Auflösung
2 Bewegungs- und Erschütterungssensoren in Form von Geophonen	Bewegung/ Erschütterung	Ja/Nein
Dopplerradar	Bewegungs- und Fließgeschwindigkeit	m/s
Potentiometrischer Weggeber	Deformation	mm
Video mit Nachtsichtfunktion	visuelle Information	Ja/Nein
Radarpegel	Fließhöhe und Höhenänderung	cm
Reißdraht	Deformation	Ja/Nein
Rissmessgerät	Öffnungsweite	Mm
Detektions- und Alarmeinheit inkl. Datenübermittlungsmodul	Daten/Alarm	-
Solarstromversorgung	Energie	-
Interface-Schaltungen	Anbindung	-
Richtmikrophon	Schalldruck und Frequenz	-
Bewegungsmelder und Manipulationsdetektor samt Signalgeber	Diebstahlschutz und Schutz gegen Vandalismus und/oder Manipulation	Ja/Nein

Optionale Sensorik (verfügbar)		
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>Infraschalldetektor</i>	Lawinen, Muren, Felssturz	Schalldruck/Frequenz
<i>Optionale Lichtschranken und Induktionsschleifen</i>	Alarmausschluss	Ja/Nein

2.2 Datenerfassungs- und Datenübermittlungseinheit

Der Datenlogger als zentrales Bauteil der Detektionseinheit verfügt über mehrere Dateneingänge, an welche Sensoren angeschlossen werden können. Die Dateneingänge werden in der Regel über Dateninterfaces an den Datenlogger angebunden. Die Dateninterfaces werden benötigt um Signale zu erhalten, die von Störungen weitgehend befreit sind und um die Daten in interpretierbarer Form zu erhalten. Der Datenlogger beinhaltet einen Mikroprozessor mit integriertem Speicher und wird durch ein Messprogramm gesteuert. Die Ein- und Ausgänge werden Anwendungsspezifisch programmiert. Die Übertragung der Daten erfolgt per Datenfernübertragung. Diese haben wir mittels einer seriellen Schnittstelle an den Datenlogger angeschlossen. Der Prototyp verwendet ein UMTS-Modem als Datenübertragungseinheit. In das Modem haben wir die uns zur Verfügung gestellte SIM-Karte des Netzbetreibers A1 eingesetzt und auf Funktion geprüft. Die Daten werden in den erforderlichen Intervallen auf einen Messdatenserver (FTP) geschrieben. Warnungen bzw. Alarme werden zusätzlich per Email und SMS abgesetzt.

2.3 Mobilisierbarkeit

Der Prototyp kann von zwei Trägern zu Fuß samt Solarversorgung und Sensoren zum Einsatzort gebracht und sofort „online“ gebracht werden. In einem Einsatztest haben wir dazu Rückentragen aus Aluminium verwendet.

3 SYSTEMBESCHREIBUNG

3.1 SYSBOX-PT01

3.1.1 Ausstattung

Die „SYSBOX-PT01“ (vgl. Abbildung 1) ist das zentrale, energieautarke Bauteil des Systems und besteht aus folgenden Komponenten:

- a) Um die Meßbox kompakt und mobil zu halten wurde ein Polypropylen-Koffer als Gehäuse gewählt. Dieser ist äußerst robust, stoßfest, staub- und wasserdicht sowie temperaturbeständig zwischen -50°C bis $+90^{\circ}\text{C}$. Die Meßbox inklusive Einbauteile und innerer Verkabelung wiegt nur ca. 6kg und lässt sich somit von einer Person problemlos transportieren.
- b) Wasserdichte und stoßfeste Eingänge für Sensoren, die als Analog-, Digital oder Datenschnittstellen vorliegen. Es wurden passgenaue und einsteckrichtungssichere Rundsteckverbindungen eingebaut und mit dem Gehäuse verschweißt.
- c) Datenlogger, bestehend aus einem Mikroprozessor sowie einem integriertem Speicher. Der Prozessor ist frei programmierbar und wird durch ein Messprogramm gesteuert. Je nach Anwendung werden spezifische Programme erstellt und eingelesen. Jeder Ein- und Ausgang kann mittels des Messprogramms konfiguriert werden um unterschiedliche Parameter erfassen zu können. Alle eingehenden und ausgehenden Daten werden mit einem präzisen Zeitstempel belegt. Am Prototyp wurden insgesamt neun Ein- und Ausgänge zur Verfügung gestellt.
- d) Datenübertragungsmodul, welches die Daten mittels Mobilfunkprotokoll an einen Datenserver übermittelt. Die Übertragungsintervalle und Abfolgen können frei festgelegt werden.
- e) Alarmmodul, welches ereignisspezifische Sofortmeldungen an ausgewählte Empfänger per SMS und/oder Email versendet.
- f) Relaisschaltung, welche eine Sofortübertragung von Livevideobildern einleitet und sekundäre Wirkanlagen wie Ampeln, Induktive Sicherungsanlagen oder sonstige akustische und/oder optische Geber schalten kann.
- g) Sofortenergieversorgung für den sofortigen Betrieb der SYSBOX-PT01 bis zur Einrichtung der Solarstromversorgung oder anderer Versorgungseinrichtungen.

- h) Zweifache Temperaturmessung im Datenlogger und in der *SYSBOX-PT01*.

3.1.2 Datenlogger

Die Meßbox wurde mit einem Datenlogger der Fa. Campbell Scientific Instruments, Typ CR1000 ausgerüstet. Der Datenlogger weist die besten Merkmale zum Einsatz in exponierten Lagen wie in Hochgebirgsregionen aber auch bei extremer Hitze auf. Der Datenlogger ist als äußerst robust und weit entwickelt einzustufen.

3.1.3 Datenfernübertragung

Die Daten werden vor Ort von den Sensoren erfasst, vom Datenlogger verarbeitet und im internen Speicher abgelegt.

Liegen Schwellwertüberschreitungen vor oder fallen Sensoren aus (Nullstromfehler) werden Nachrichten bzw. ein Alarm per SMS und/oder Email abgesetzt und optional werden Wirkanlagen per Relais geschaltet.

Um die Daten an einem zentralen Ort ablegen zu können ist es notwendig diese an den Zielort zu transferieren. Das Auslesen der Daten vor Ort ist ebenfalls möglich jedoch nicht primär als Übertragungsweise vorgesehen. Diese Form der Datenübertragung erfolgt im die serielle Schnittstelle zwischen Datenlogger und Laptop.

Um eine einfache Datenablage von abgeschiedenen Messorten sicherzustellen und eine automatisierte Messdatenerfassung zu etablieren, wurde eine Datenfernübertragung realisiert. In die *SYSBOX-PT01* wurde ein Kommunikationsmodul eingebaut, dass per GSM, GPRS oder UMTS aber wahlweise auch per Ethernetschnittstelle (Internet) einen Zugriff und/oder die laufende Datenübertragung gewährleistet. Für den Betrieb über ein Mobilfunknetz können alle in Österreich und im Ausland üblichen SIM-Karten, respektive Mobilfunkanbieter eingesetzt werden.

Falls vorhanden kann auch ein herkömmliches Festnetzmodem verwendet werden. Wenn am Einsatzort kein Telefonanschluss und kein Mobilfunknetz vorhanden ist kann die Kommunikation auch über ein Satellitenmodem nachgerüstet werden. Je nach Einsatzzweck werden die Daten in den erforderlichen Intervallen übertragen. Für den Einsatz als Detektions- und Alarmsystem ist es notwendig bei Überschreitung von Schwellwerten eine Alarmmeldung abzusetzen. Nach der erfolgten Alarmierung werden die

Daten in verkürzten Intervallen an einen Messdatenserver übertragen. Dies dient dazu um Ereignisrelevante Zustände in höherer zeitlicher Auflösung erfassen zu können.

Aufgrund der bundesweit guten Netzabdeckung wurde für den Prototyp eine Mobilfunk-Lösung zur Datenübertragung realisiert. Dabei wurde das GPRS-Modem COM110 der Fa. Campbell Scientific und der UMTS-Router TK701U der Fa. Welotec eingesetzt.

Zum Anschluss des UMTS-Routers an den Datenlogger haben wir das Ethernet-Modul NL120 der Fa. Campbell Scientific angebaut.

3.1.4 Energieversorgung

Um eine Energieversorgung unabhängig vom Stromnetz zu realisieren haben wir eine Photovoltaikversorgung implementiert. Diese ist ausreichend zu dimensionieren um auch bei längeren Schlechtwetterperioden eine unterbrechungsfreie Überwachung sicherzustellen.

Es wurde das monokristalline 100W-Solarpanel CL100WM der Fa. Westech in Kombination mit einer 12V/100Ah-Solarbatterie der Fa. Ultracell, Typ: UCG100AH realisiert. Die Laderegulierung übernimmt ein 10A-PWM-Laderegler Typ LS1024 der Fa. Landstar. Die Implementierung der Stromversorgung unterliegt ebenfalls gewerberechtlichen Bestimmungen und wurde von der Fa. Sysdect GmbH umgesetzt.



Abbildung 3: Solarstromversorgung

4 SENSOREN

4.1 Geophon

4.1.1 Anwendung

Für folgende Anwendungen wurde der Sensor im Zuge der Umsetzung der Prototypenentwicklung ausgerichtet.

- Wildbachdetektion
- Murdetektion an Schutzbauwerken
- Murdetektion in Gräben und Gerinnen ohne Schutzbauwerke
- Geschiebedetektion an Sohlswellen (Geschiebegeophon)
- Steinschlagdetektion am Boden und an Schutzbauwerken
- Lawinendetektion (am Boden)

4.1.2 Messprinzip

Geophone sind elektromechanische Wandler, die Schwingungen oder einseitige Auslenkungen in analoge elektrische Spannungssignale umwandeln. Dabei wird im Zuge der Bewegung des Geophons, welches am Boden oder an einem Bauteil einer Schutzmaßnahme befestigt ist, eine Spule gegen ein permanentes Magnetfeld bewegt und so Strom induziert. Die resultierende Spannung verhält sich proportional zur Beschleunigung. Das reine Spannungssignal ist für messtechnische Zwecke nicht direkt verwertbar. Für Seismische Sondierungen oder Erdbebedetektion werden aufwändige Auswertevorgänge mittels Prozessoren und Software benötigt.

4.1.3 Sensor

Für die Detektion von Murgängen, Lawinen und Steinschlag oder Felsstürze haben wir einen zuverlässigen elektromechanischen Wandler in einem robusten wasserdichten Gehäuse eingesetzt. Den Sensor haben wir an eine neu entwickelte Interfaceschaltung (PEAKDECT) der Fa. Sysdect Mechatronics GmbH angebunden. Das Interface kann zur Vorverarbeitung aller Wechselspannungssignale wie auch jener von Infraschalldetektoren (Lawinendetektion) eingesetzt werden. Das Interface wird zwischen das Geophon und den weiterverarbeitenden Datenlogger geschaltet und mit einer 12V-Spannung der Messbox versorgt. Die Signalaufbereitung umfasst folgende Teile:

- Gleichrichtung des Wechselfspannungssignals
- Signal-Verstärkung
- Erfassung des Spitzenwertes
- Einstellbarer Schwellwert-Diskriminator



Abbildung 4: PEAKDECT - Schaltung der Fa. SYSDECT GmbH

Die Signalverarbeitungskaskade des Interface wird in Abbildung 9 dargestellt. Der RMS-Wert und die Peakdetektion gehen in die Ereignisaufzeichnung ein und sind bereits als entstört zu bezeichnen und weisen auf die Ereignisintensität hin.

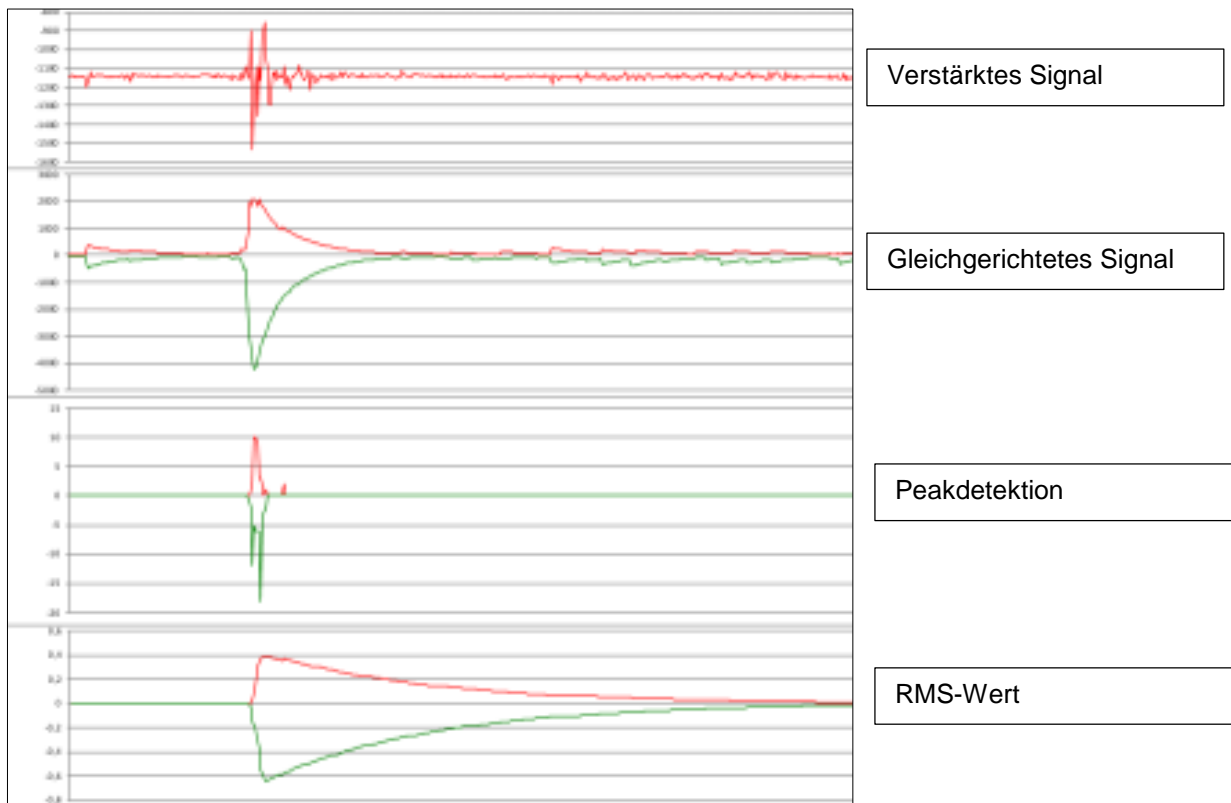


Abbildung 5: Signalverarbeitungskaskade des Interface PEAKDECT

4.2 Radar-Pegelsensor

4.2.1 Anwendung

Für folgende Anwendungen wurde der Sensor im Zuge der Umsetzung der Prototypenentwicklung ausgerichtet.

- Wildbachdetektion
- Hochwasserdetektion
- Murdetektion
- Lawinendetektion

4.2.2 Messprinzip

Ein Radar-Pegelsensor arbeitet nach dem Laufzeitprinzip unter Einsatz von elektromagnetischen Impulsen im Mikrowellenbereich. Veränderungen von Niveaus unterhalb des Sensors werden detektiert. Bei fließenden Medien kann so die Fließhöhe erfasst werden. Im Bereich von Schutzbauwerken wie Hochwasserrückhalteanlagen kann die Höhe des Staus erfasst werden.

4.2.3 Sensor

Es wurde eine industrielle Radarsensorbaugruppe mit einem gepulsten Emitter-Detektor-Paar eingesetzt. Die Signalverarbeitung ist im Rumpf des Sensors integriert.

4.2.4 Datenformat

In der eingesetzten Konfiguration liefert der Sensor ein 4-20mA-Signal, welches proportional zur erfassten Entfernung ist und direkt in der Messbox aufgezeichnet wird. Eine automatische Drahtbruchererkennung wurde implementiert.

4.3 Dopplerradarsensor

4.3.1 Anwendung

Für folgende Anwendungen wurde der Sensor im Zuge der Umsetzung der Prototypenentwicklung ausgerichtet.

- Wildbachdetektion
- Hochwasserdetektion
- Murdetektion
- Lawinendetektion
- Steinschlagdetektion (in Steinschlagrinnen)

4.3.2 Messprinzip

Der Sensor arbeitet nach dem Dopplerprinzip. Der Emitter sendet kontinuierlich im Mikrowellenfrequenzbereich. Der Detektor empfängt die reflektierten Signale. Aus dem Vergleich der gesendeten und der empfangenen Frequenz wird die Geschwindigkeit reflektierender Objekte abgeleitet.

4.3.3 Sensor

Es wurde ein industrieller Sensor mit einer Emitterfrequenz von 24,165GHz implementiert. Die Signalauswertung ist in der Sensorbox integriert. Die Auswertung der Geschwindigkeitsdaten erfolgt dezentral in der Sensorbox. Dazu wurde ein Mikroprozessor samt Schaltungen angebaut. Der Sensor sowie die Auswerteelektronik sind in einem Schutzgehäuse mit Montagekonsole untergebracht.

4.3.4 Datenformat

Die Daten werden in Textform über eine RS232-Schnittstelle an die Datenbox übergeben. Es werden Geschwindigkeitswerte permanent über die serielle Schnittstelle an den Messbox ausgegeben.

4.4 Reißdrahtsensor und Kippschalter

4.4.1 Anwendung

Für folgende Anwendungen wurde der Sensor im Zuge der Umsetzung der Prototypenentwicklung ausgerichtet.

- Wildbachdetektion
- Hochwasserdetektion
- Murdetektion
- Lawinendetektion
- Hangbewegungen (Felsgleitungen und Lockermaterialhangbewegungen)
- Steinschlagdetektion

4.4.2 Messprinzip

An einem Draht wird permanent eine Durchgangsmessung durchgeführt, indem eine Spannung angelegt wird, die von der Messbox erfasst wird. Bei Unterbrechung des Stromkreises durch eine Durchtrennung des Drahtes oder die Öffnung eines Schalters wird keine Spannung mehr am Messboxeingang gemessen. In einer weiteren Anordnung wird der Draht durch einen Seilzugschalter ersetzt, der nach erfolgter Betätigung manuell wieder zurückgesetzt werden kann.

Kippschalter verwenden das gleiche Messprinzip wie Reißdrahtsensoren und unterscheiden sich nur in der mechanischen Ausführung. Zur Detektion von direkten Einwirkungen von Murgängen und Hochwasser auf Bahnstrecken sind Kippschalter seit Jahren bewährt. Meist erfolgt die Montage an Brücken und Bahndurchlässen in einer bestimmten Höhe über dem Gerinne. Überschreitet der Pegelstand des Gerinnes eine kritische Schwelle wird der Schalter ausgelöst. Falls eine kontinuierliche Pegelmessung bzw. aufgrund eines im Normalfall trockenliegenden Gerinnes keinen Sinn macht, oder aber als Redundanz zu einer bestehenden Pegelmessung können mit Kippschaltern zuverlässig Einwirkungen an der Infrastruktur erfasst werden.



Abbildung 6: Kippschalter an Bahndurchlass

4.4.3 Sensor

Es kann zur Verwendung als Reißdrahtsensor jeder Standardindustrieseilzugschalter verwendet werden.

Als Kippschalter verwenden wir ebenfalls Industriestandschalter in besonders robuster Ausführung.

4.4.4 Datenformat

Die Sensoren liefern im normalen, nicht betätigten Zustand ein Spannungssignal, welches unterbrochen wird sobald eine Auslösung erfolgt.

4.5 Wegaufnahmesensoren

4.5.1 Anwendung

Für folgende Anwendungen wurde der Sensor im Zuge der Umsetzung der Prototypenentwicklung ausgerichtet.

- Hangbewegungen
- Lawinenanbruchüberwachung
- Bauwerksüberwachung

4.5.2 Messprinzip

Das ursprünglich für den Einsatz angedachte faseroptische Messprinzip wurde intensiv getestet und grundsätzlich als gut geeignet identifiziert. Die im Rahmen der Detailplanung und im Zuge von Vergleichen ermittelten Kosten, führten zur Entscheidung alternative, gleichwertige und deutlich wirtschaftlichere Lösungen an die Meßbox anzubinden.

Die gewählte Lösung sieht Wegaufnahmesensoren in verschiedenen Ausführungen vor. Das Messprinzip beruht bei potentiometrischer Messung auf einer Änderung des elektrischen Widerstands abhängig vom erfassten Weg. Die Sensoren werden in Spannungsteilerschaltung betrieben, d.h. es wird eine definierte Spannung angelegt und je nach Auslenkung des Sensors wird eine dem Weg proportionale Spannung abgegriffen. Es wurden verschiedenen bauliche Ausführungen verwendet: Linearwegaufnehmer und Seilzugwegaufnehmer mit jeweils unterschiedlichen Messbereichen. Linearwegaufnehmer messen Auslenkungen in axialer Richtung und können mit einer Rückholfeder ausgestattet sein. Seilzugsensoren verfügen über ein Meßseil welches durch Federkraft unter Spannung gehalten wird.



Abbildung 7: Potentiometrischer Linearwegaufnehmer



Abbildung 8: Seilzugwegaufnehmer

4.5.3 Sensor

Verschiedene potentiometrische Wegaufnehmer wurden implementiert und als multiple Sensorpakete eingesetzt.

Potentiometrischer Linearwegaufnehmer - 100mm Messbereich

Potentiometrischer Linearwegaufnehmer - 15mm Messbereich

Potentiometrischer Seilzugwegaufnehmer - 1250mm Messbereich

Potentiometrischer Seilzugwegaufnehmer - 500mm Messbereich

Potentiometrischer Seilzugwegaufnehmer - 1250mm Messbereich

4.5.4 Datenformat

Die potentiometrischen Sensoren geben ein dem aufgenommenen Weg proportionales Spannungssignal aus, welches von der Datenbox aufgezeichnet wird.

4.5.5 Zusatzmodul

Die multiplen Sensorpakete wurden mittels Interfaceschaltung an die Datenbox angebunden wobei eine unabhängige Präzisionsspannungsquelle implementiert wurde.

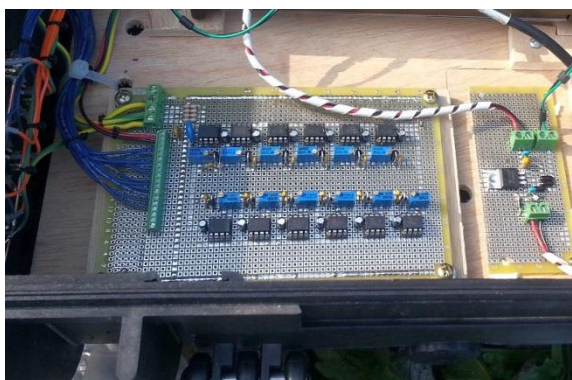


Abbildung 9: Interfaceschaltung, im Prototyp SYSBOX-PT01 implementiert

4.6 Onlinevideo

Als weiterer Sensor wurden zwei unterschiedliche Onlinevideosysteme getestet. Zum einen wurde eine über Funk angebundene Kleinkamera getestet und zum anderen eine Webcam mit Nachtsichtfunktion und Bewegungsdetektion. Die Webcam kann direkt an die Messbox angebunden und mit Strom versorgt werden. Die Aktivierung erfolgt durch eine Relaisschaltung bei Überschreitung von Schwellwerten bzw. von Warnschwellen.

4.7 Onlinesystem

Wie in der Machbarkeitsstudie dargestellt wurde im Zuge der Prototypenentwicklung ein bestehendes Onlinesystem zur Datenvisualisierung herangezogen. Darüber hinaus wurden mit diesem System die seitens der Fa. Ubimet GmbH in festen Intervallen beigestellten kalibrierten Niederschlagsradardaten für Testeinzugsgebiete analysiert. Die Analyse umfasste das virtuelle Sammeln des Niederschlages über einem als Gefahren-einzugsgebiet definierten Raum im Sinne eines virtuellen Ombrometers. Die Niederschlagsradardaten können, wie in der Machbarkeitsstudie beschrieben jedoch auch bereits aus dem Infra::Wetter System der ÖBB herangezogen werden (vgl. Abbildung 11 sowie Abbildung 12)

Des Weiteren wurden die Daten online verfügbarer Wetterstationen für Testgebiete in die Bewertung der aktuellen Systemzustände in den Gefahren-einzugsgebieten herangezogen (vgl. Abbildung 10).

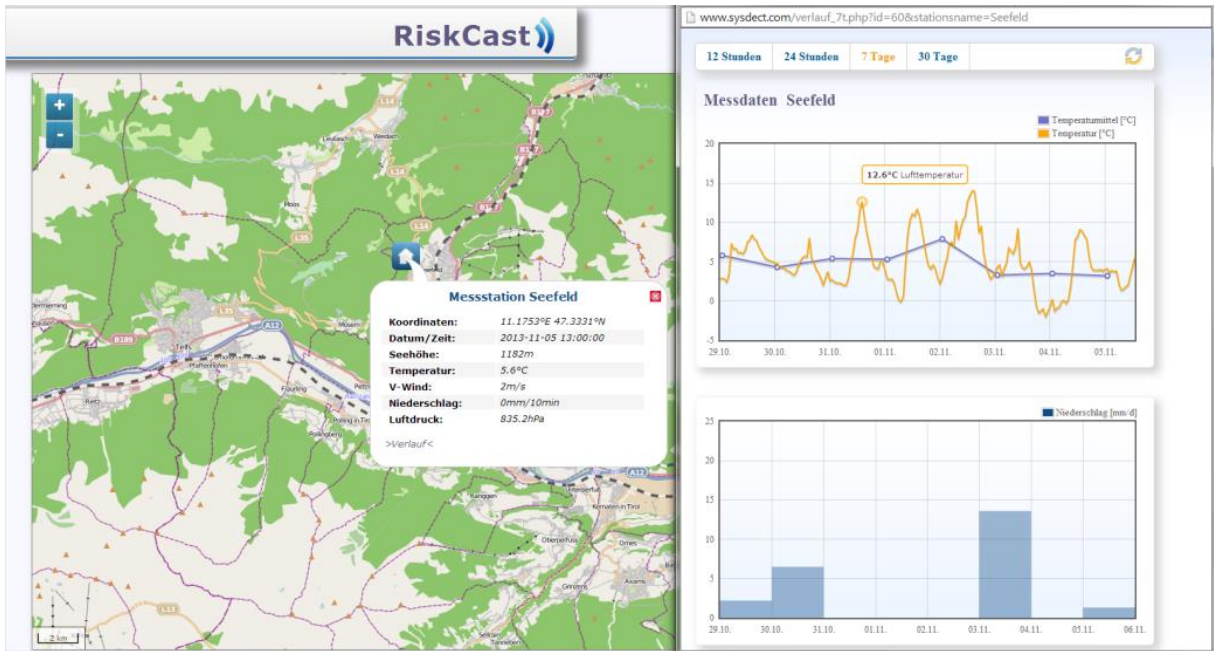


Abbildung 10: Einbindung von Wetterstationen in das Onlinesystem

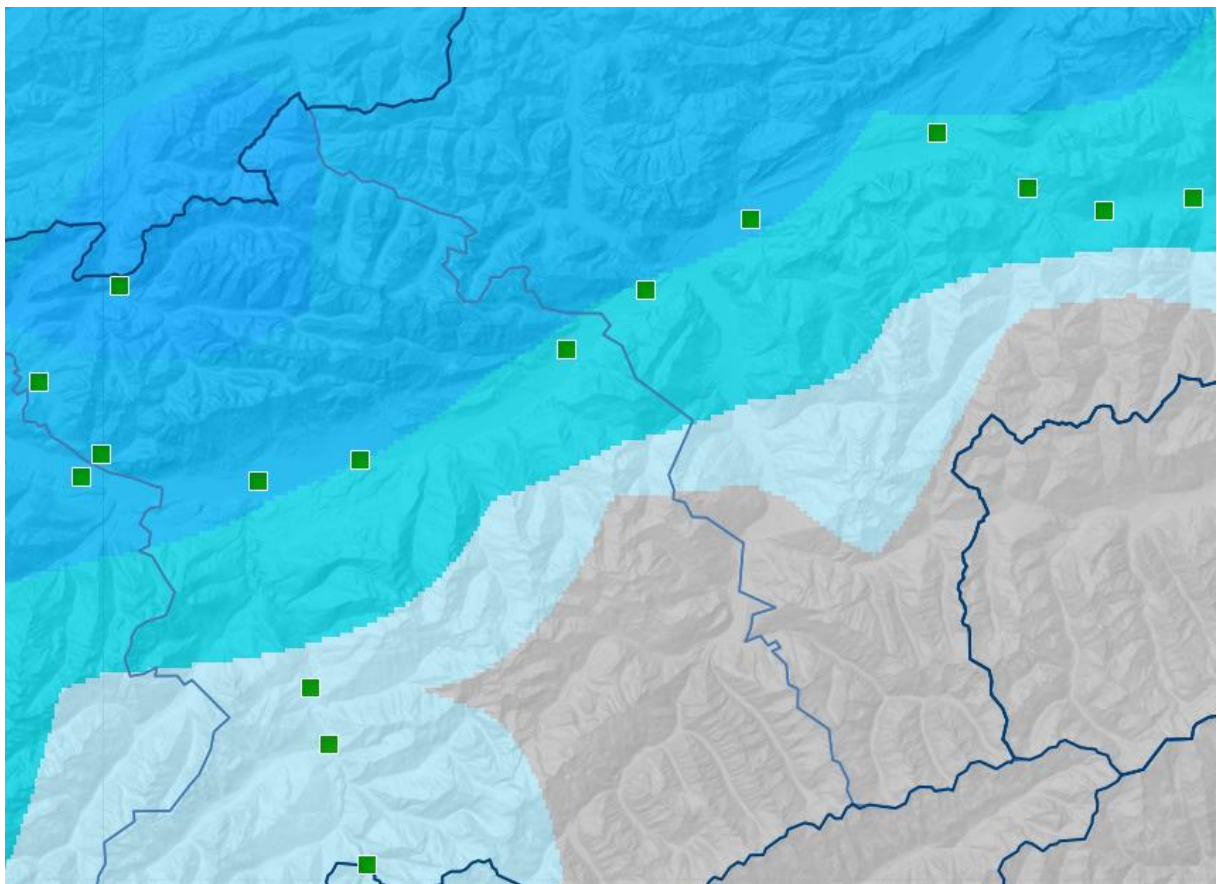


Abbildung 11: Niederschlagsintensitäten aus Wetterradardaten (grün: Wetterstationen)

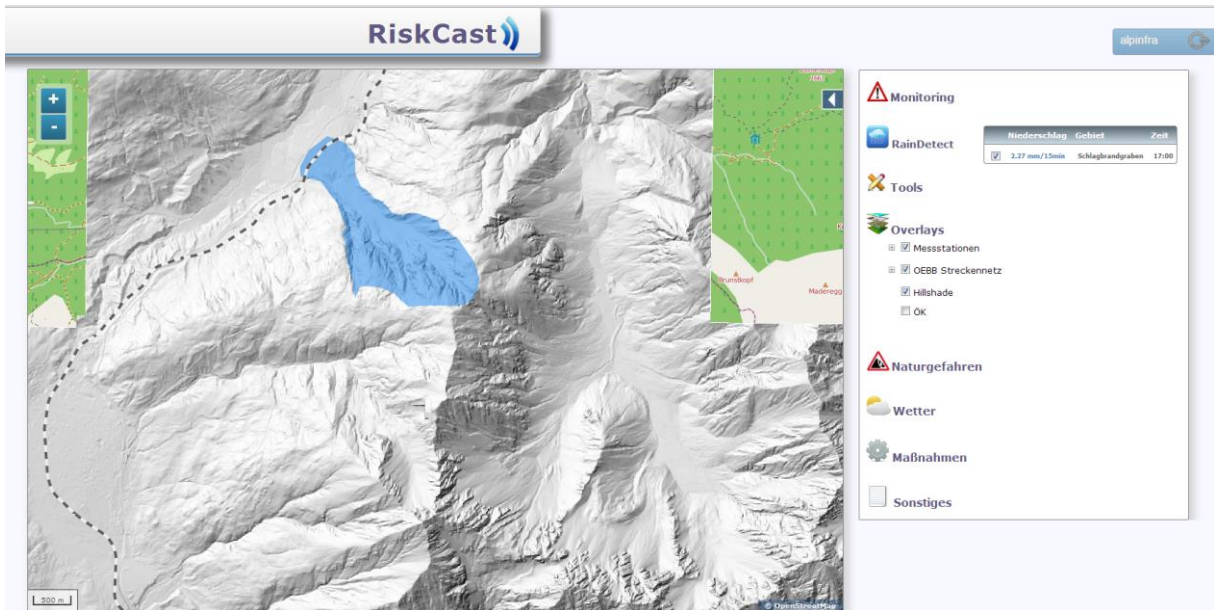


Abbildung 12: Virtueller Ombometer für Mureinzugsgebiet an der ÖBB-Strecke bei Seefeld

Über die Verarbeitung von „Fernerkundungssensordaten“ bietet das eingesetzte Onlinesystem die Möglichkeit des Zugriffs auf Messdaten und Alarmmeldungen sowie im Ereignisfall auf alle Livebilder, die anlassbezogen auf die Plattform gespielt werden. Das Onlinesystem kann neben dem Datenserver des Auftraggebers herangezogen werden (vgl. Abbildung 13).

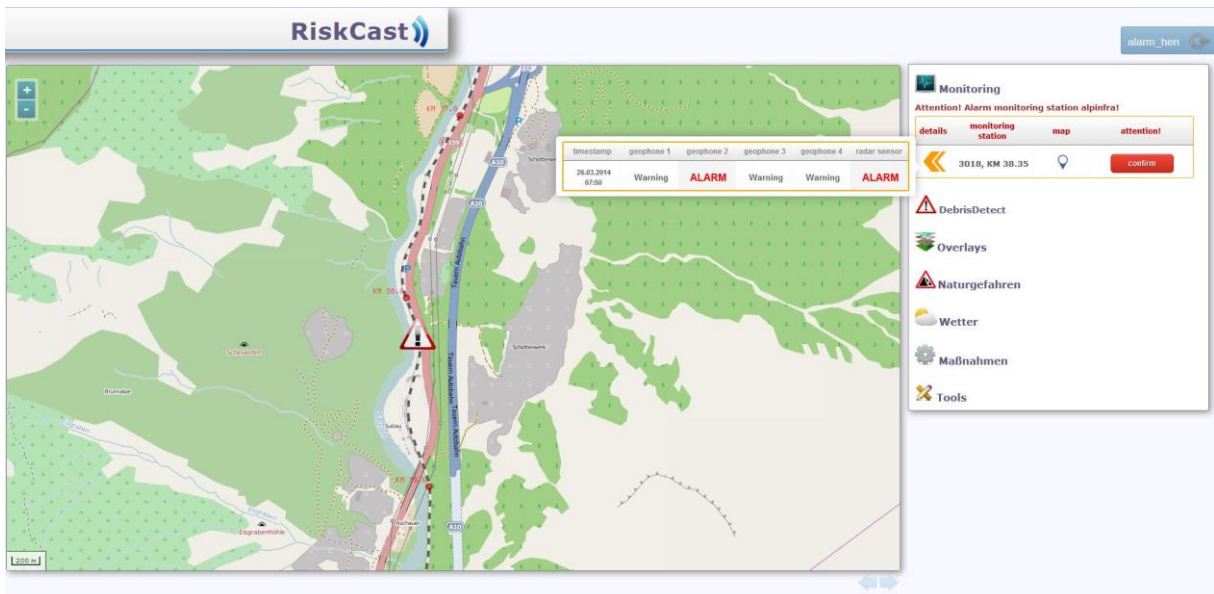


Abbildung 13: Alarmmeldung am Onlinesystem im Bereich des Murversuches

5 TESTLÄUFE

Im Zuge der Prototypentwicklung wurden umfangreiche Einsatztests im Nahbereich der ÖBB durchgeführt. Unter anderem wurde dazu im Bereich oberhalb der ÖBB-Strecke am Pass-Luegg ein Mur- und Steinschlagversuchsanlage errichtet. Weitere Testeinsätze wurden im Bereich des Ennstals, bei Sankt Gallen für die Überwachung von Hangbewegungen an der Bahnstrecke der ÖBB durchgeführt.

5.1 Test Solarmodul

Die gewählte autarke Stromversorgung wurde im Bereich des Ennstals im Rahmen der Testanwendung zu einer Hangüberwachung getestet. Der über zwei Wochen durchgeführte Test zur Messung von Kriechhängen wurde an einem Nordosthang durchgeführt, sodass das Solarmodul nur in den Vormittagsstunden direkte Sonnenstrahlung erhält. Durch den geringen Stromverbrauch der Messbox und der ausreichend dimensionierten Solarversorgung konnte auch unter den gegebenen ungünstigen Bedingungen eine sichere Stromversorgung der Station für einen dauerhaften Betrieb gesichert werden.

5.2 Test Murdetektion mittels Geophonen

Die Funktionalität der Geophone zur Murdetektion haben wir im Rahmen einer Versuchsserie getestet. Dazu haben wir eine temporäre Murversuchsanlage am Pass Luegg, unmittelbar oberhalb der ÖBB-Strecke in einem Schotterwerk der Salzburger Sand und Kieswerke errichtet. Die Anlage wurde mit mehreren Sensoren instrumentiert. Wir haben alle Sensoren erfolgreich getestet, die für Murdetektionseinrichtungen vorgesehen wurden.

Die zum Einsatz gebrachten Geophone wurden so verbaut, dass unterschiedliche Positionen auf Empfindlichkeit hin überprüft werden konnte.

Position A: Montage auf einer Querschwelle, die in der Versuchsrinne etwa 0,5m tief eingegraben wurde

Position B: Montage 1m neben der Versuchsrinne im Boden vergraben

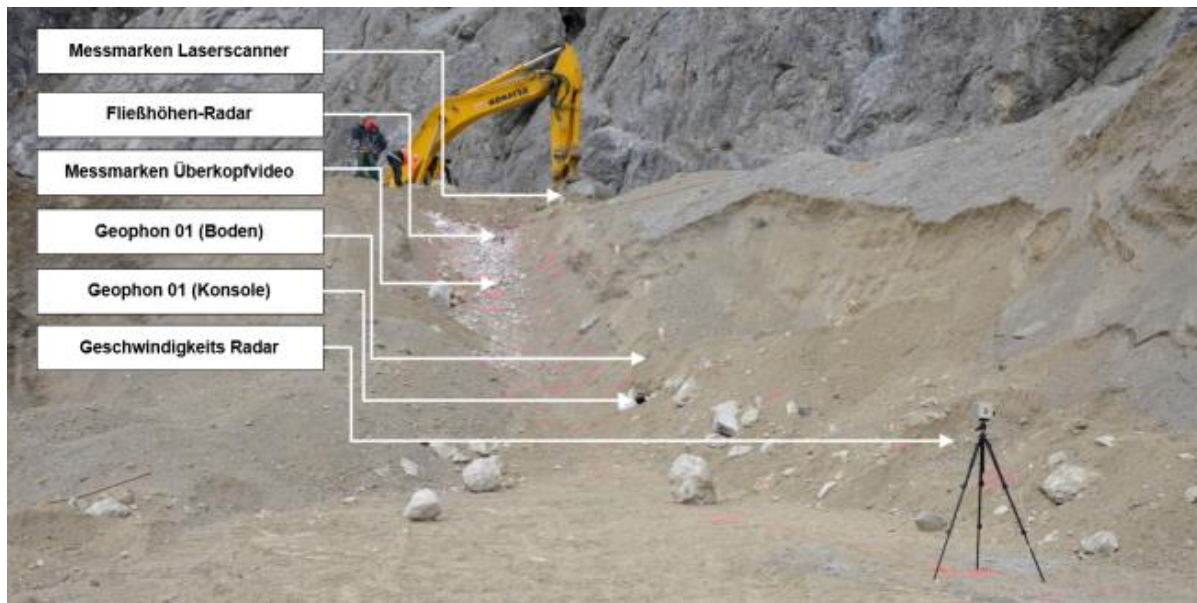


Abbildung 14: Versuchsrinne mit Anordnung der Instrumentierung



Abbildung 15: Geophon vergraben sowie Schwelle für die Anregung des zweiten Geophons



Abbildung 16: Start der ersten Versuchsmure

Die unter Abbildung 17 zusammengefassten Abbildungen zeigen Schnappschüsse die aus einer hochauflösenden digitalen Filmaufnahme die aus dem Videomonitoringmodul stammen. Diese geben einen Eindruck des Ablaufs der zweiten Versuchsmure. In den Schnappschüssen, die in Abbildung 18 zusammengefasst sind, kann der Versuchsablauf aus der Vogelperspektive nachvollzogen werden.

Die Kamerasysteme schalten sich bei überschreiten eines Schwellwertes an und liefern Livebilder, die über das Internet verfolgt werden können. Diese Einrichtung sichert die schnelle Überprüfbarkeit eines Alarmes auf Relevanz hin.





Abbildung 17: Abbildungen zum Verlauf der zweiten Versuchsmure Seitenansicht

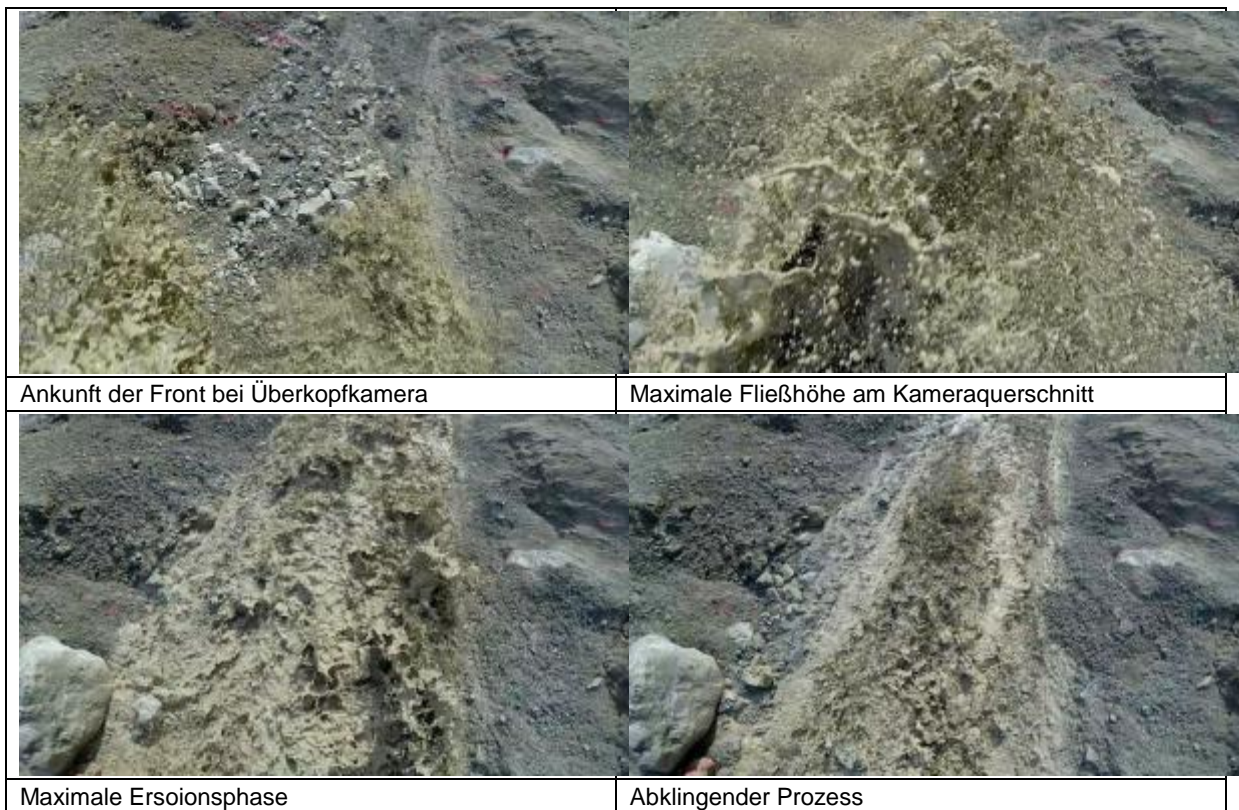


Abbildung 18: Abbildungen zum Verlauf der zweiten Versuchsmure Überkopfansicht

Wie aus Abbildung 19 zu entnehmen ist konnte am vergrabenen Geophon eine eindeutige Zuordnung des künstlich ausgelösten Ereignisses getroffen werden. Die programmierte SMS- und Email sowie die Datenübertragungsroutinen wurden von der Meßbox erfolgreich in Gang gesetzt (vgl. Abbildung 20).

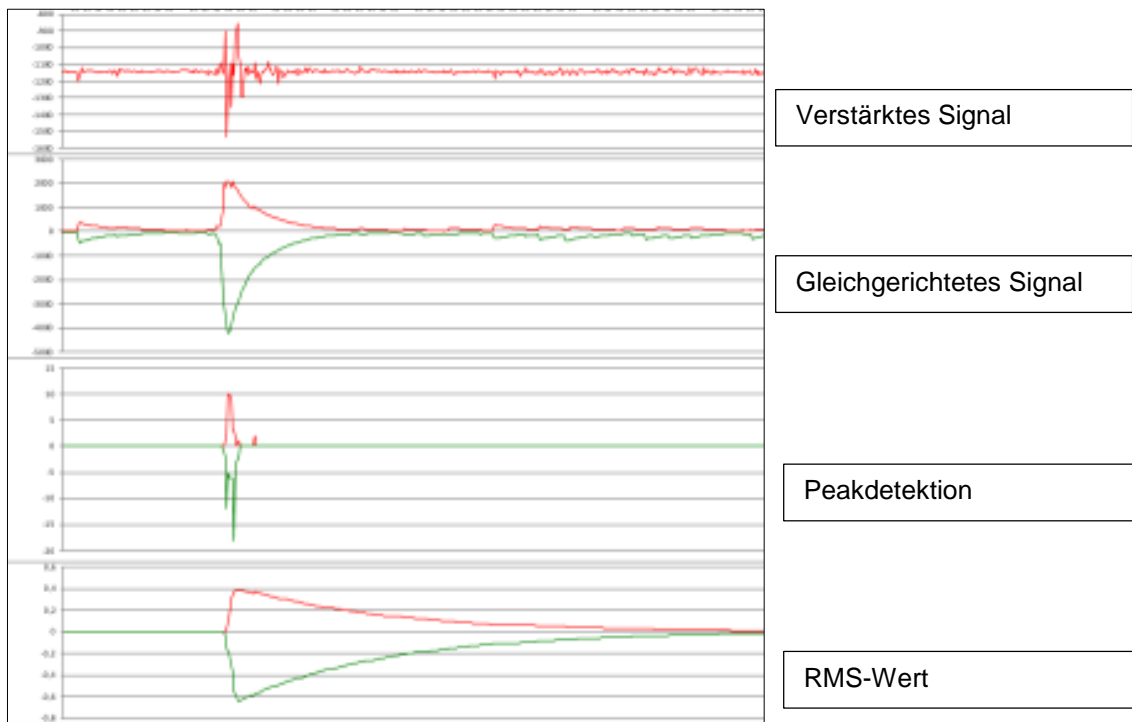


Abbildung 19: Ergebnis am vergrabenen Geophon

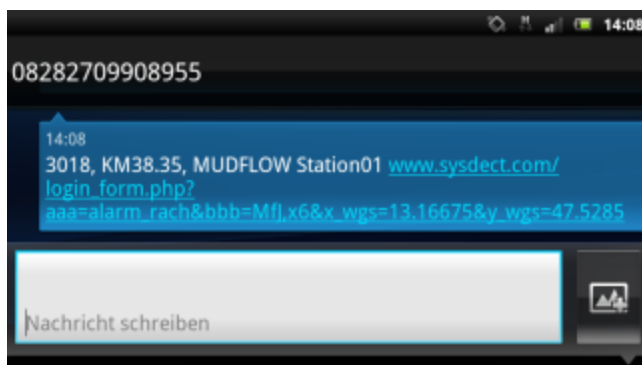


Abbildung 20: Eingangs SMS mit Livelink zur Videoaufzeichnung

5.3 Geophontest für Steinschlagdetektion

5.3.1 Geophontest ohne Schutzbauwerke

Im Zuge der Vorbereitung der Versuchsmuren wurden die Geophone auch dahin getestet, ob diese als Steinschlagdetektoren verwendet werden können, ohne dabei an einem Schutzbauwerk montiert zu werden. Dazu wurden Steine in die Versuchsrinne geworfen. Der Versuchshergang wurde mehrere Male wiederholt um eine Ergebnissicherheit zu erlangen. Insgesamt sechs durchgeführte Versuche zeigten eine eindeutige und störungsfreie Zuordnung der Ereignisse.



Abbildung 21: Steinschlagversuch von Überkopf-Kamera aufgenommen

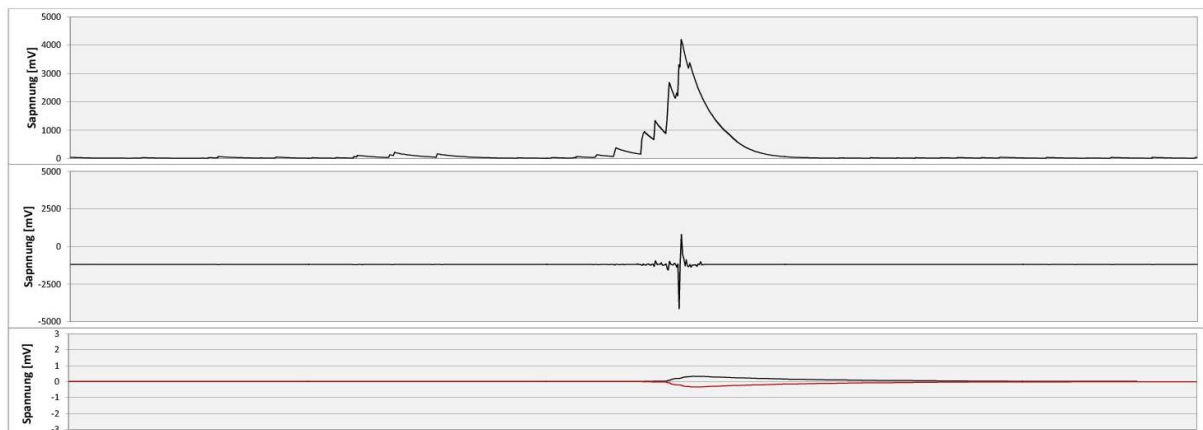


Abbildung 22: Ausgangssignale PEAKDECT - Steinschlagversuche in der Versuchsrinne

Der Durchgang des Sturzblockes am Messquerschnitt konnte eindeutig Detektiert werden.

5.3.2 Testinstrumentierung eines Steinschlagschutznetzes

Am 30.4.2014 wurde ein Steinschlagschutznetz mit Geophonen instrumentiert um die Empfindlichkeit zu testen und Schwellwerte für eine Alarmierung festzulegen. Dabei wurden 4 Geophone jeweils über das Modul PEAKDECT an die Datenbox angeschlossen. Des Weiteren wurde ein optisch-akustischer Alarmsignalgeber verwendet um die Auslösung eines Alarmes zu visualisieren. Die Messdaten wurden dabei über das Datenübertragungsmodem an einen ftp-Server gesendet. Alle Tests waren erfolgreich und die Einsetzbarkeit des Systems zur Instrumentierung von Steinschlag- und oder Murnetzen ist nachgewiesen.

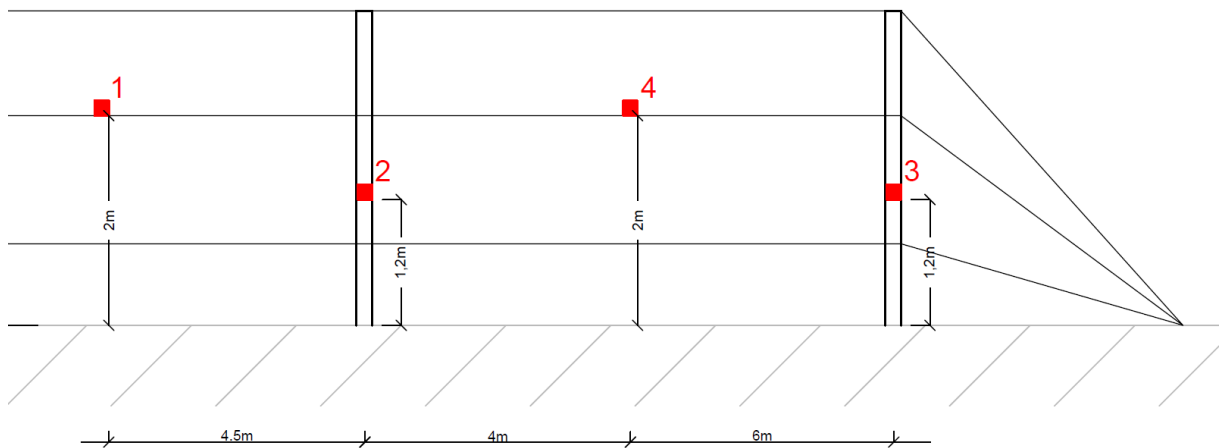


Abbildung 23: Anordnung der Geophone.

Die Steine wurden in das Randfeld geworfen, in dem das Geophon 04 befestigt wurde.



Abbildung 24: Getestete Steingrößen die per Hand in das Schutznetz geworfen wurden

In der verwendeten Konfiguration reicht die Empfindlichkeit der Geophone aus um auch kleine Steine zu detektieren die in das Schutznetz fallen. Größeren Bodenerschütterungen vor dem Schutznetz können ebenfalls erfasst werden. Die Montage ist sowohl an den Tragseilen als auch an den Stützen möglich.

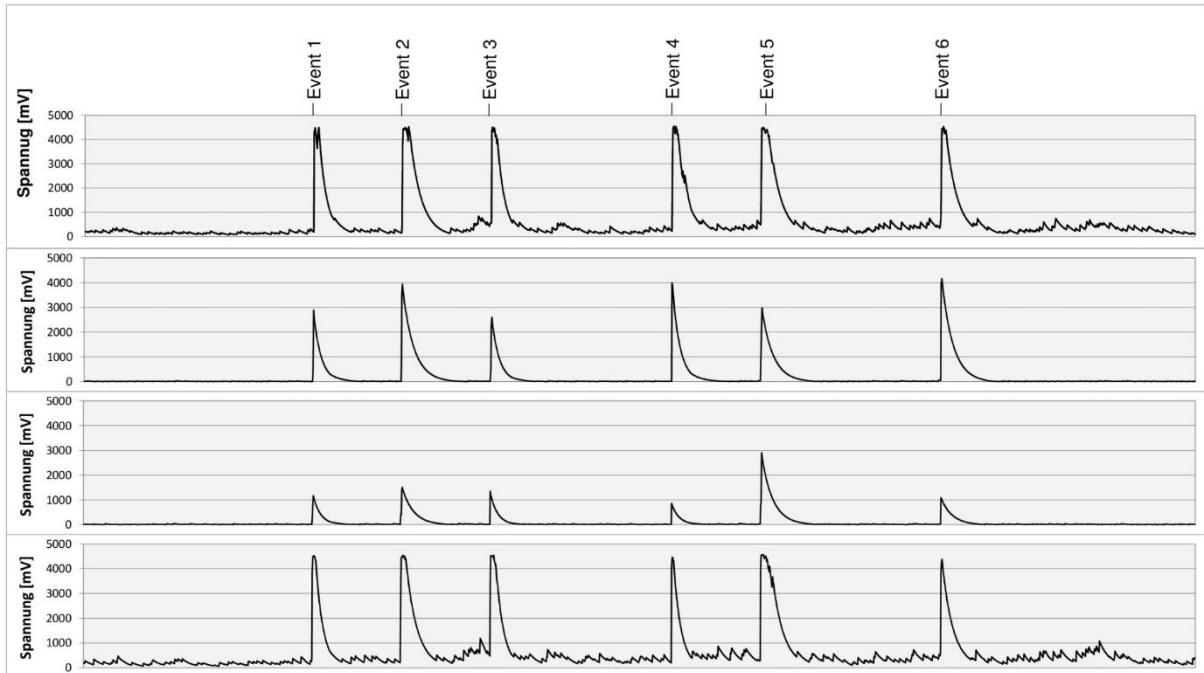


Abbildung 25: Ausgangssignale aus dem Interfacemodul PEAKDECT mit klarer Ereigniserkennung



Abbildung 26: Geophon an Steinschlagschutznetz

5.4 Test Radarpegel

Der Radarpegelsensor wurde zu Testzwecken zur Überwachung des Wasserstandes an einem gerinne an einem Brückentragwerk montiert und erfolgreich getestet. Um auch kurzfristige Fließhöhenänderungen detektieren zu können, wurde dieser im Rahmen der Murversuche auf Eignung zur Detektion von Murgängen getestet. Dabei wurde der Sensor an einem Seil angebracht, das über die Versuchsrinne gespannt wurde (vgl. Abbildung 14 sowie Abbildung 27).



Abbildung 27: einfach abgespannter Radar-Pegelsensor

Wie zu erwarten war ist der Pegelsensor zur Erfassung des Wasserstandes eines Fließgewässers sehr gut geeignet, da er robust ist und unempfindlich gegenüber Verschmutzungen und Verwirbelungen der Wasseroberfläche. Bei den durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass schnell ändernde Messwerte vom Sensor sehr gut erfasst werden. Die Murfront kann gut detektiert werden. Des Weiteren konnte die durch die Mure verursachte Eintiefung der Rinne sehr gut erfasst werden. Auf diese Weise können unter Einbeziehung der Signalintensitäten der Geophone und der Pegeldata bereits erste Hinweise auf die Ereignisintensität gewonnen werden.

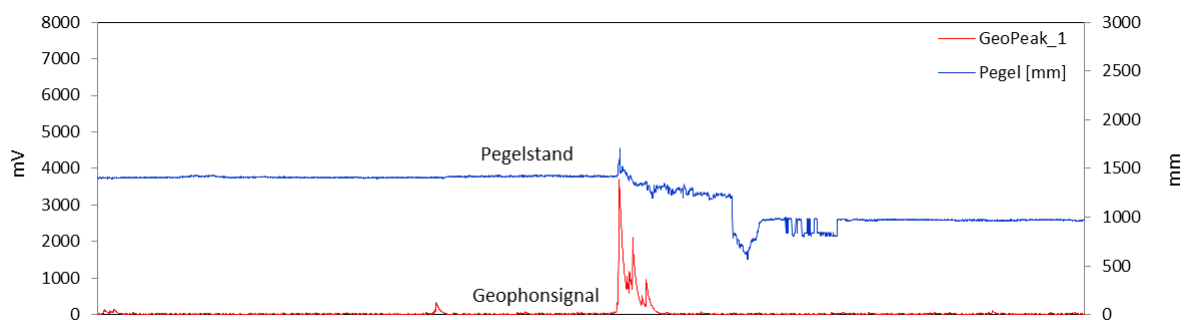


Abbildung 28: Messwertverlauf des Radarpegelsensors und des Geophons - Versuchsmure

5.5 Tests Dopplerradar Sensor

Der erste Test des Dopplerradarsensors erfolgte am Klausbach, der knapp unterhalb der Staustufe Lehen in die Salzach mündet. Es wurde versucht die Fließgeschwindigkeit an einem konstant fließenden Bach zu erfassen. Der Sensor wurde dabei in unterschiedlichen Positionen neben und über dem Gerinne positioniert.



Abbildung 29: Dopplerradartest an Fließgewässer

Der Sensor lieferte plausible Geschwindigkeitswerte die mittels einfacher Überprüfung verifiziert werden konnten. Dazu wurde die Schwimmgeschwindigkeit von Holzkörpern gemessen und mit den Sensordaten verglichen. Es besteht also eine hinreichende Möglichkeit den Sensor zur Erfassung der Fließgeschwindigkeit von Wildbächen und Flüssen zu messen.

Um die Eignung zur Messung der Fließgeschwindigkeit einer Murfront zu testen, wurde auch der Dopplerradarsensor bei den Versuchsmuren getestet. Dazu wurde der Sensor an

einem Stativ angebracht und gegen die Fließrichtung der Versuchsmure gerichtet. Die Entfernung des Sensors zum Beginn des Auslaufbereichs beträgt rund 20m

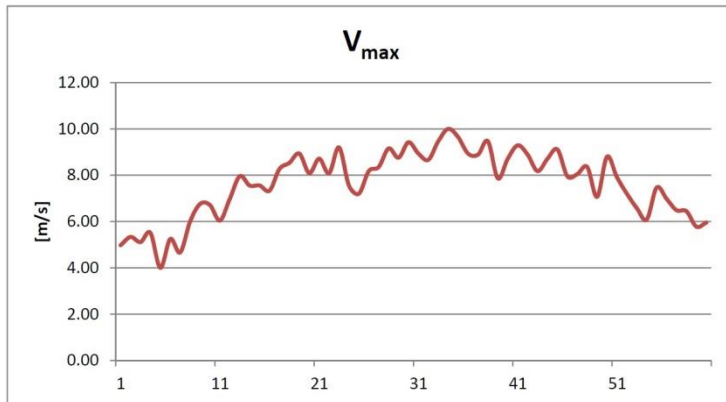


Abbildung 30: Geschwindigkeitsdaten des Dopplerradarsensors für den Mureversuch

Die mit dem Radarsensor erfassten Geschwindigkeitsdaten wurden anhand der Videodaten der Überkopfkamera verglichen und verifiziert.

Der Sensor ist zur Erfassung der Fließgeschwindigkeit von Muren und anderen Gerinnen wie Wildbächen gut geeignet. Dabei ist jedoch besonders zu beachten, dass je nach Ausrichtung des Sensors eine Korrektur der Messwerte erforderlich ist. Die Korrektur erfolgt in der Messbox.

5.6 Test Reißdrahtsensor

Der Reißdrahtsensor wurde in Büroumgebung erfolgreich getestet, indem dieser durchtrennt wurde.

5.7 Test Hangüberwachung

Die Wegaufnahme-Sensoren wurden unter unterschiedlichsten Bedingungen getestet. Es wurden mehrere Wegaufnehmer zur Überwachung eines Kriechhanges an der ÖBB-Strecke bei St. Gallen eingesetzt. Ein weiterer Einsatz von Linearwegaufnehmern erfolgte im Zuge der Überwachung von Rissen an Gebäuden.

Die ersten Ergebnisse der Kriechhangüberwachung ergaben trotz des Einsatzes von Temperunempfindlichen Extensometermaterialien nicht interpretierbare Messdatenverläufe. Es wurde daraufhin das gesamte System überprüft und es wurde festgestellt, dass es erforderlich ist die Sensoren selbst über ein Interfacemodul an die Datenbox anzuschließen

um eine Kompensation von Schwankungen der Gerätetemperatur und der Spannung zu erreichen. Nach Einsatz des Kompensatormoduls konnten plausible Messdaten gewonnen werden (vgl. Abbildung 32).

Die Messstelle wird seitens des Ingenieurbüros SYNALP GmbH betrieben und die Fa. SYSDECT GmbH, die die Messstelle auf Basis der Prototypentwicklung eingerichtet hat, konnte uns die Daten der Messeinrichtung zur Verfügung stellen.



Abbildung 31: Wegaufnehmer zur Überwachung eines Kriechhanges an der Bahnstrecke

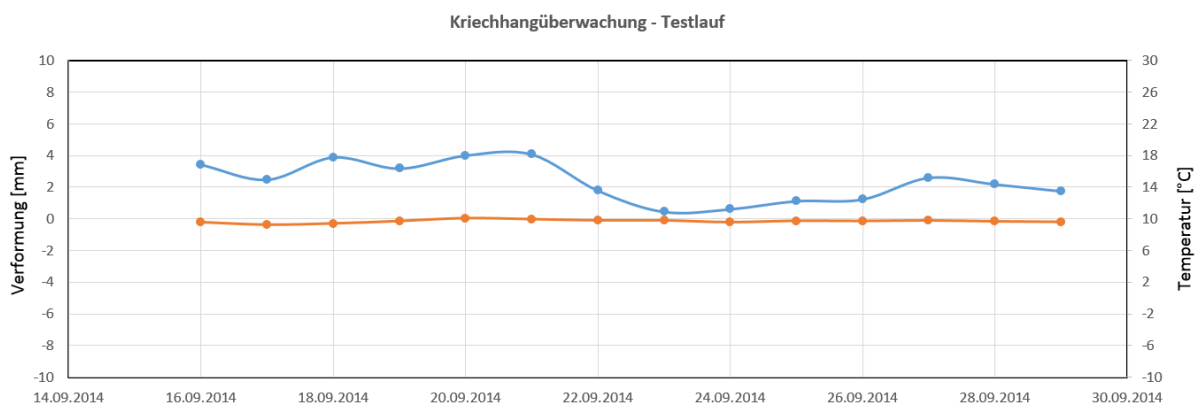


Abbildung 32: Weg-Zeitverlauf der Kriechhangüberwachung ÖBB-Strecke St. Gallen.



6 SCHLUSS

Der hergestellte Prototyp ist in der Lage alle vorgesehenen Messaufgaben zu erfüllen, ist leicht, hinsichtlich der Messaufgaben flexibel skalierbar und mobil. Der Prototyp ist geschützt gegen Vandalismus. Die Kosten für weitere Geräte und Sensorgruppen konnten durch die Suche nach günstigen Alternativen gesenkt werden.

Die Herstellung der Messbox selbst ist jedoch an eine gewerberechtliche Befugnis geknüpft, die im Falle des gegenständlichen Werkes von einem befugten Unternehmen für Mechatronik beigebracht wurde.

Die Messaufgaben, die Datenübertragung auf einen Messdatenserver sowie die Alarmierungsprotokolle wurden getestet. Der Prototyp steht für konkrete Überwachungsaufgaben bereit und kann für den Auftraggeber eingesetzt werden.

7 LITERATURLISTE

7.1 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 Bergzerreißung.“ *Sitz.-Ber. Akad. d. Wiss.*, 149, 51.
- Ampferer, O. (1940). „Zum weiteren Ausbau der Lehre von den Bergzerreißungen.“ *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 Tacconnaz 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 NGL'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.
- Gregoretti, 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.
- Hendrikx, 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 Tsaoling 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 runoff." *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). "Geomorphologic 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. Interpraevent.
- 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.
- Teyssere, 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.
- Teyssere, 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 Talzusub.“ *Geol.Rdsch.*, Bd.58, H.3: 974-983.

7.2 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.

Ayeneu, 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 debuttrressing 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.
- Esposito, 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.
- Frattini, 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. Rocciamelone 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" Wieczorek, 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. Zarkin (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.

7.3 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.

8 VERZEICHNISSE

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Innen- und Außenansicht des mobilen Detektionssystems im Testeinsatz	8
Abbildung 2: Anordnung der Messdatenerfassung und Alarmkette	8
Abbildung 3: Solarstromversorgung	14
Abbildung 4: PEAKDECT - Schaltung der Fa. SYSDECT GmbH	16
Abbildung 5: Signalverarbeitungskaskade des Interface PEAKDECT	16
Abbildung 6: Kippschalter an Bahndurchlass	20
Abbildung 7: Potentiometrischer Linearwegaufnehmer	21
Abbildung 8: Seilzugwegaufnehmer	22
Abbildung 9: Interfaceschaltung, im Prototyp SYSBOX-PT01 implementiert	23
Abbildung 10: Einbindung von Wetterstationen in das Onlinesystem	24
Abbildung 11: Niederschlagsintensitäten aus Wetterradardaten (grün: Wetterstationen) ...	24
Abbildung 12: Virtueller Ombometer für Mureinzugsgebiet an der ÖBB-Strecke bei Seefeld	25
Abbildung 13: Alarmmeldung am Onlinesystem im Bereich des Murversuches	25
Abbildung 14: Versuchsrinne mit Anordnung der Instrumentierung	27
Abbildung 15: Geophon vergraben sowie Schwelle für die Anregung des zweiten Geophons	27
Abbildung 16: Start der ersten Versuchsmure	28
Abbildung 17: Abbildungen zum Verlauf der zweiten Versuchsmure Seitenansicht	29
Abbildung 18: Abbildungen zum Verlauf der zweiten Versuchsmure Überkopfansicht	30
Abbildung 19: Ergebnis am vergrabenen Geophon	30
Abbildung 20: Eingangs SMS mit Livelink zur Videoaufzeichnung	30
Abbildung 21: Steinschlagversuch von Überkopf-Kamera aufgenommen	31
Abbildung 22: Ausgangssignale PEAKDECT - Steinschlagversuche in der Versuchsrinne	31
Abbildung 23: Anordnung der Geophone	32
Abbildung 24: Getestete Steingrößen die per Hand in das Schutznetz geworfen wurden ..	32
Abbildung 25: Ausgangssignale aus dem Interfacemodul PEAKDECT mit klarer Ereigniserkennung	33
Abbildung 26: Geophon an Steinschlagschutznetz	33
Abbildung 27: einfach abgespannter Radar-Pegelsensor	34
Abbildung 28: Messwertverlauf des Radarpegelsensors und des Geophons - Versuchsmure	34
Abbildung 29: Dopplerradartest an Fließgewässer	35
Abbildung 30: Geschwindigkeitsdaten des Dopplerradarsensors für den Murversuch	36
Abbildung 31: Wegaufnehmer zur Überwachung eines Kriechhanges an der Bahnstrecke	37

Abbildung 32: Weg-Zeitverlauf der Kriechhangüberwachung ÖBB-Strecke St. Gallen.....37

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Prototyp-Sensoren und deren Einsatzmöglichkeit9