



Universität für Bodenkultur Wien
Department Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Alpine Naturgefahren (IAN)

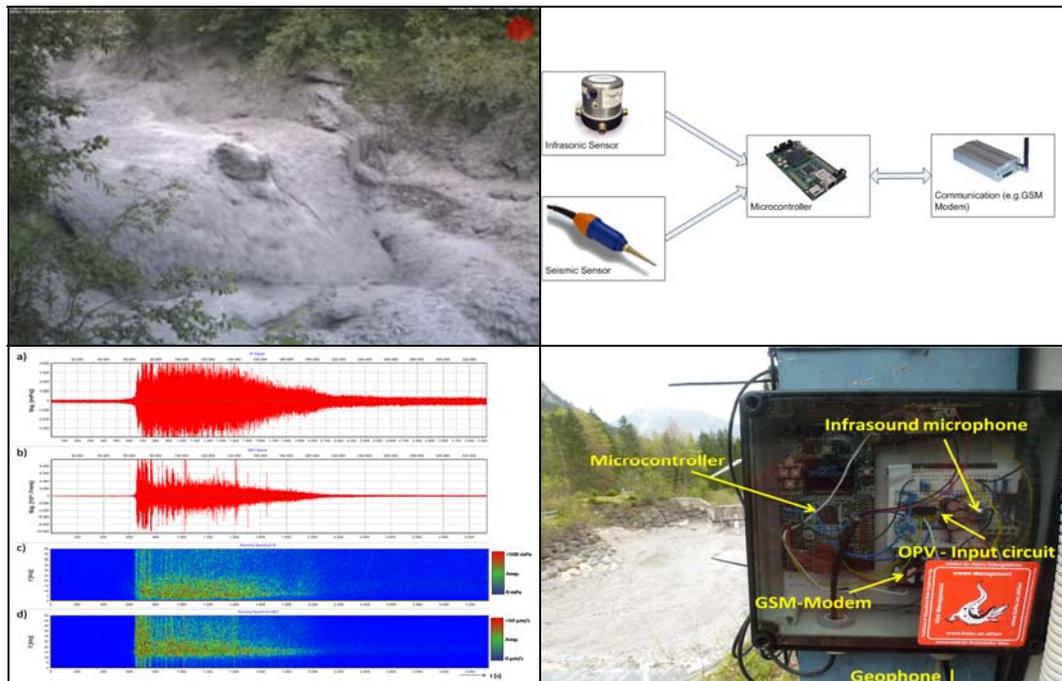
Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN

Tel.: #43-1-47654-4350
Fax: #43-1-47654-4390



IAN REPORT 147

Automatic Detection of Alpine Mass Movements (AMM-Detection) Endbericht



Im Auftrag:

GeoExpert Research and Planning GmbH

Gefördert von:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Wien, Oktober 2016

Report 147: Automatic Detection of Alpine Mass Movements
(AMM-Detection)
Endbericht

Gefördert von: Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG
BRIDGE Programm

Projekt Nummer: 836474

Projektleitung: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hübl Johannes

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Schimmel Andreas

Dipl.-Ing. Volk Gerhard

Universität für Bodenkultur
Department Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Alpine Naturgefahren

Peter Jordan Str. 82
A – 1190 Wien

Tel.: #43-1-47654-4350
Fax: #43-1-47654-4390

Report Nr. 147

Wien, im Oktober 2016

1. Arbeiten und Termine

Beschreiben Sie (chronologisch) die im Förderzeitraum durchgeführten Arbeiten. Vergleichen Sie den tatsächlichen Ablauf mit dem eingereichten Arbeits- und Terminplan. Beschreiben Sie Änderungen im Ablauf und in der Zielsetzung und beschreiben Sie die Ursachen für diese Änderungen.

1.1 Detektions-System (WP5, WP6)

Die Grundidee für das Detektions-System war, eine Aufbau mit einem Infrasschall- und einem seismischen Sensor am selben Standort, mit einer Datenverarbeitung in Echtzeit direkt vor Ort mittels Mikrocontroller. Diese Lösung kann ohne großen Aufwand in der Nähe eines Wildbaches oder Lawenstrichs installiert werden und bietet somit eine praktische und kostengünstige Lösung für die Frühwarnung. Das Anwendungsgebiet eines solchen Systems könnte z.B. der Schutz von Straßen und Eisenbahnen durch Steuerung einer Ampel/Signals sein.

Derzeit gibt es zwei verschiedene Arten von Infrasschall-Sensoren und zwei Geophone die für dieses System verwendet werden. Der hauptsächlich verwendete Infrasschall-Sensor ist ein Chaparral Physik Modell 24, mit eine Auflösung von 2 V/Pa und einem Frequenzbereich von 0,1 bis 100 Hz. Das seismische Signal wird von einem Geophon des Typs Sercel SG-5 mit einer Auflösung von 80 V/m/s und einer Eigenfrequenz von 5 Hz gemessen. Zusätzlich wird ein Infrasschall-Mikrofon MK-224 mit einer Auflösung von 50 mV/Pa und einem Frequenzbereich von 3 bis 200 Hz sowie ein Geophon des Typs SENSOR SM-4 mit einer Auflösung von 28,8 V/m/s und einer Eigenfrequenz von 10 Hz verwendet.

Die Datenverarbeitung erfolgt durch ein Stellaris Luminary Evaluation-Board LM3S8962 mit einem 50 MHz ARM Cortex-M3 Mikroprozessor. Das Eingangssignal wird mittels Operationsverstärkerschaltung an den Mikrocontroller ADC-Eingangsbereich angepasst. Diese Eingangsschaltung beruht auf einem invertierenden Verstärker mit einer Verstärkung von 0,2 für den Infrasschall-Sensor Chaparral Physik Modell 24 und einer Verstärkung von 8 für das MK-224, womit eine Auflösung von 400 mV/Pa erreicht wird. Das seismische Signal wird durch die Eingangsschaltung um den Faktor 100 verstärkt, womit eine Gesamtauflösung von 8 mV/ μ m/s für die SG-5 Sensoren und eine Auflösung von 2,88 mV/ μ m/s für die SM-4 Sensoren erreicht wird. Das Infrasschall-Signal wird noch durch einen Hochpass-Filter basierend auf einer RC-Schaltung mit einer Grenzfrequenz unterhalb von 1 Hz gefiltert, um konstante Komponenten zu eliminieren.

Die Signale werden vom Mikrocontroller mit einer Abtastrate von 100 Samples/s erfasst, wobei die Abtastung mit einem 32x Hardware-Oversampling erfolgt, um Aliasing-Effekte zu vermeiden.

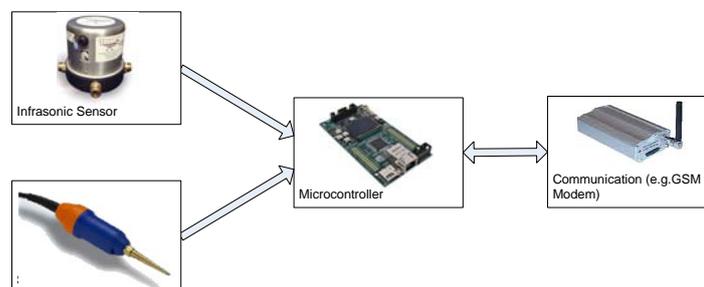


Abb 1.1: Aufbau Detektions-System

Das Evaluation-Board bietet die Möglichkeit, die Daten auf einer Micro-SD-Karte mit Kartengröße bis zu 16 GB zu speichern, sowie einen Ethernet-Zugang für die Fernwartung und Herunterladen von Daten. Die Daten werden in Stunden-Dateien geschrieben, wobei eine 16 GB Karte Platz für 3560 Dateien bietet, womit eine Datenaufzeichnung bis zu vier Monate möglich ist. Ein Vorteil dieses Systems ist, die hohe Flexibilität durch die Verwendung des Mikrocontrollers, sowie die Abdeckung der speziellen Anforderungen eines Warnsystems in rauer alpiner Umgebung und ein

kostengünstiger Aufbau. Das System arbeitet mit einer Versorgungsspannung von 12 V DC und benötigt eine elektrische Leistung unter 1,5 W. Dieser niedrige Energieverbrauch des Systems ist ein großer Vorteil für Standalone-Stationen mit Solarstromversorgung, wie in den meisten Einsatzgebieten erforderlich.

1.2 Detektions-Algorithmus (WP2, WP3)

Dieser Abschnitt erläutert die aktuelle Version eines Detektions-Algorithmus zu automatisch Erkennung von Murgängen und Lawinen basierend auf seismische und Infraschall-Daten. Die Anforderung an diese Algorithmus sind, Ereignisse so früh wie möglich in einem möglichst einfachen Verfahren ohne viele Fehlalarme zu identifizieren, so dass der Algorithmus in Echtzeit direkt am Sensorstandort ohne großen Rechenaufwand (z.B. auf einem Mikrocontroller) ausgeführt werden kann. Dies führte zu einer Analyse der Entwicklung der Amplituden der Signale in einem Zeit-Frequenzbereich. Die automatische Erkennung eines Ereignisses wird durch eine minimale Größe des Ereignisses, Wetterbedingung, Entfernung und Hintergrundrauschen begrenzt.

Das System hat zwei unterschiedliche Niveaus der Alarmierung, die von den Amplituden des Infraschall-Signal abhängig sind, um zwischen großen und kleinen Ereignisse zu unterscheiden. Das Infraschall-Signal und das seismische Signal wird mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) verarbeitet und in Bezug auf Zeit-Frequenz-Verlauf und Amplitude analysiert. Für die FFT wird der Bluestein FFT-Algorithmus (auch Chirp z-Transformation-Algorithmus genannt) mit 100 Samples verwendet.

Der Detektionsalgorithmus vergleicht die Entwicklung des Infraschall-Signals im Zeitverlauf in vier Frequenzbänder für Muren bzw. drei Frequenzbänder für Lawinen. Die Verteilung dieses Frequenzbändern wurde so gewählt, dass das gesamte charakteristische Spektrum von Murgängen und murartigen Ereignissen (geringere Viskosität) bzw. Lawinen betrachtet wird, wobei ein niedrigeres Frequenzband ist für Murgänge und eine höheres Band für murartige Signale verwendet wird. Diese Unterscheidung ist bei Lawinen nicht notwendig, weshalb bei Lawinen nur drei Frequenzbänder verwendet werde. Die Infraschall-Signale von alpinen Massebewegungen zeigen einen typischen Verlauf über die Zeit, so dass das Verhältnis der durchschnittlichen Amplituden dieser unterschiedlichen Frequenzbänder als Detektionskriterium verwendet werden kann.

Ein Detektionskriterium der aktuellen Version ist, dass die durchschnittlichen Amplituden des Murgang- oder Lawinen-Frequenzbandes, über die durchschnittlichen Amplituden der darunter und darüber liegenden Bänder sein muss und des weiterem noch eine bestimmte Grenze überschritten werden muss. Um zwischen den verschiedenen Ereignisgrößen zu unterscheiden, werden zwei Grenzwerte für die durchschnittliche Amplituden verwendet, wobei eine Grenze von 10 Pa für kleinere Muren oder Lawinen (L1) und ein Limit von 20 Pa für größere Ereignisse (L2) verwendet wird. Diese Grenzwerte können je nach Anwendung des Detektions-Systems und der Hintergrundgeräusche angepasst werden.

Als zusätzliches Kriterium wird die Varianz der Amplituden der seismischen und Infraschall-Signale verwendet. Da die Varianz künstlicher Quellen hoch ist, weil diese in den meisten Fällen sehr schmalbandig sind, verglichen mit der Varianz des breitbandigen Signals von Muren oder Lawine, kann dieses Kriterien verwendet werden, um künstliche Störsignale zu eliminieren. Für eine Detektion muss die Varianz der Amplituden des Mur/Lawinen-Frequenzbandes unter einer gewissen Grenze bleiben, um sicherzustellen, dass dies eine natürliche Signalquelle ist.

Amplitudes criteria - Level1:

$$avAmp_{DFlow/Aval} \geq AmpLimitL1 \vee avAmp_{DFlood} \geq AmpLimitL1 \wedge$$

Amplitudes criteria - Level2:

$$avAmp_{DFlow/Aval} \geq AmpLimitL2 \vee avAmp_{DFlood} \geq AmpLimitL2 \wedge$$

$$Distribution\ criteria: avAmp_{DFlow/Aval} > \frac{avAmp_{high}}{avAmp_{low}} \vee avAmp_{DFlood} > \frac{avAmp_{high}}{avAmp_{low}}$$

$$Variance\ criteria: AmpVar_{DFlow/Aval} \leq VarLimit \vee AmpVar_{DFlood} \leq VarLimit$$

In einem früheren Version wurde diese Methode auch für seismische Signale verwendet, aber für den Nachweis von kleineren Ereignissen erweist sich diese Methode als ungeeignet, da die Unterschiede in den Frequenzbändern bei kleineren Amplituden sehr abgeschwächt wird. Daher wird für einen Detektion vom Muren bei den seismischen Signalen nur das Amplituden-Kriterium in einem Frequenzband und das Varianz-Kriterium angewendet.

$$Amplitudes\ criteria: avAmp_{DFlow/DFlood} \geq AmpLimit \wedge$$

$$Variance\ criteria: AmpVar_{DFlow/DFlood} \leq VarLimit$$

Bei Muren müssen all diese Kriterien für Infraschall- und seismische Signale unabhängig für eine bestimmte Zeitspanne (12s), erfüllt werden, um ein Identifikation eines Ereignisses zu erfüllen und ein Warnsignal auszusenden. Diese Kombination aller Kriterien auf der Grundlage beider Signaltypen führt zu einer starke Reduktion von Fehlalarmen. Die Sequenz dieses Detektions-Algorithmus, der jede Sekunde neu berechnet wird, ist als Flussdiagramm in Abbildung 1.3 dargestellt und Abbildung 1.2 präsentiert dieses Prinzip in einem Spektrum eines Murgangs.

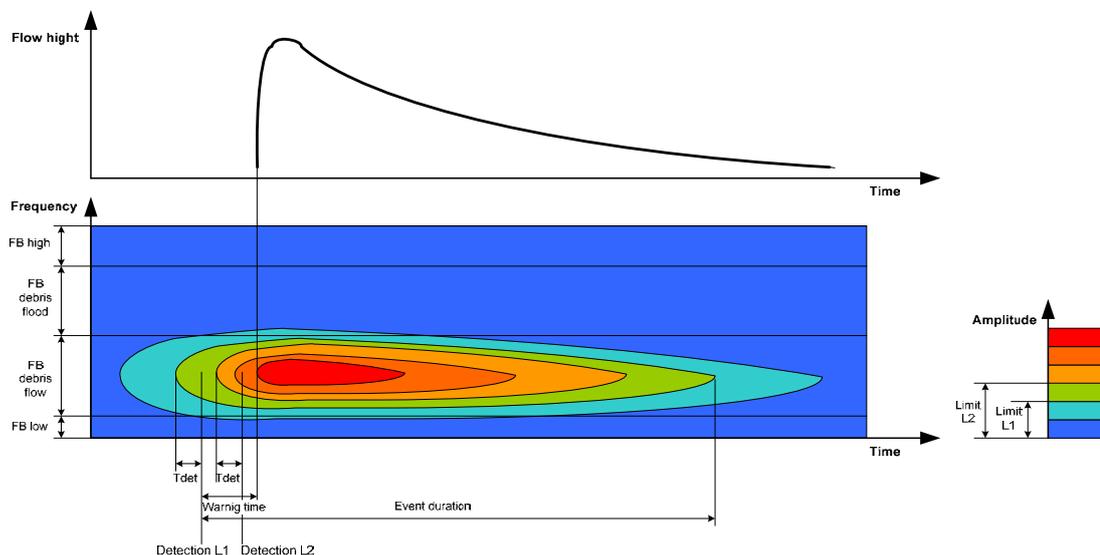


Abb 1.2: Detektions-Prinzip dargestellt in einem Spektrum einer Mure

Lawinen verursachen, in Vergleich zu den Infraschall Signalen, nur sehr geringe seismische Signale, welche nur für große Lawinen identifiziert werden können. Daher wird bei Lawinen nur das Infraschall-Signal herangezogen, welches dann für eine Detektion die Detektionskriterien eine bestimmte Zeitspanne (8s) erfüllen muss. Damit können auch kleinere Lawinen detektiert werden, jedoch führt die Beschränkung auf Infraschall-Signale zu einer höheren Anfälligkeit für Fehlalarme.

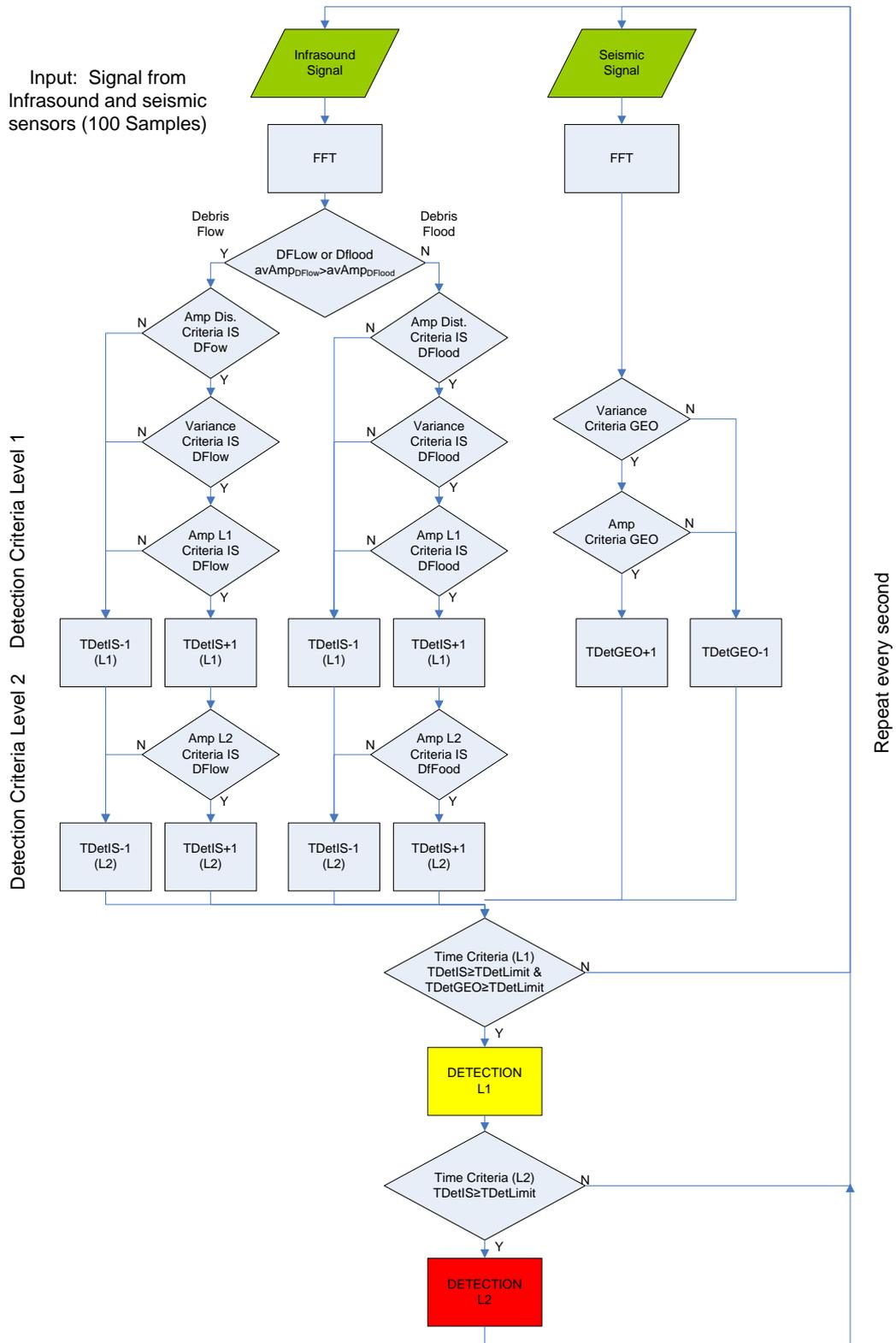


Abb. 1.3: Flussdiagramm des Detektions-Algorithmus für Muren. Bei Lawinen fällt die Aufteilung der Infrasonic-Signalverarbeitung und die Verarbeitung des seismischen Signals weg.

Die Grenzen und Zeitspannen für den Detektions-Algorithmus wurden in einem Analyseprozess verschiedener Murgänge, Lawinen und Störsignale ermittelt und wurden in mehreren Test-Sites ausgewertet. Es fand eine regelmäßige Feintuning des Algorithmus und der Parameter statt, um Fehlalarme zu reduzieren und die Identifikation und die Frühwarnzeiten auch für kleinere Ereignisse zu verbessern. Die aktuellen Einstellungen für die Frequenzbänder, die Grenzen und die Detektionszeit sind in Tabelle 1.1 aufgelistet.

		Debris flow		Avalanche
		Infrasound signal	Seismic signal	Infrasound signal
Frequency band 1	FB1 _{low} - FB1 _{high}	1 to 5 Hz	-	0 to 2 Hz
Frequency band 2 - debris flow/aval	FB2 _{low} - FB2 _{high}	5 to 15 Hz	10 to 30 Hz	2 to 6 Hz
Frequency band 3 – debris flood	FB3 _{low} - FB3 _{high}	15 to 35 Hz	10 to 30 Hz	-
Frequency band 4	FB4 _{low} - FB4 _{high}	35 to 50 Hz	-	6 to 30 Hz
Limit for Amplitudes - Level 1	AmpLimitL1	10 mPa	0,2 µm/s	10 mPa
Limit for Amplitudes - Level 2	AmpLimitL2	20 mPa	-	20 mPa
Limit for Variance	VarLimit	0,5	0,5	1,2
Time span for detection	T _{det}	12 s	12 s	8 s

Tab. 1.1: Aktuelle Einstellungen für den Detektions-Algorithmus

1.3 System-Test - Test Sites (WP7, WP8)

In den Sommermonaten 2013 wurden das System in fünf Testgebieten in Österreich installiert, wobei vier Stationen den Chaparral Physik Modell 24 verwendeten und eine Station (Dristenau), mit den MK-224 Infraschall-Sensor ausgestattet wurde. Da die SG-5 Geophonen erst im August 2013 erworben wurde, waren alle Stationen zunächst mit SM-4 Geophon ausgestattet, wobei jedoch zwei der Stationen (Dristenau, Farstrinne) in der zweite Hälfte der Saison mit SG-5 Geophone ausgestattet wurden.

Im Sommer 2014 gab es keine Änderungen beim Infraschall-Setup, aber die SG-5 Geophonen wurden für alle Stationen verwendet. Die Test-Site Wartschenbach war in dieser Saison nicht in Betrieb, und das System beim Schüsserbach lief aufgrund von Stromversorgungsproblemen nur die erste Hälfte des Sommers.

Im Winter 2013/2014 und Winter 2014/2015 wurde Tests das Lawinen-Warnsystem in Ischgl nahe der Bundesstraße nach Galtür und im Skigebiet Silvretta-Montafon durchgeführt.

In Ischgl wurde ein Chaparral Physik Modell 24 in Kombination mit einem SG-5 Geophone verwendet, in der Silvretta wurden zwei Stationen jeweils mit Chaparral Physik Modell 24/ SG-5 Geophone und MK-224/ SG-5 Geophone getestet.

Die Karte in Abbildung 1.4 bietet einen Überblick der Testgebiete und Tabelle 1.2 zeigt die Betriebszeiten und einen Überblick der verwendeten Sensoren.



Abb. 1.4: Karte der Testgebiete seit 2013.

Test Site	Infrasound Sensor	Seismic Sensor	Start	End	Operating hours
Lattenbach	Chaparral M24	SM-4	05.06.2013	27.12.2013	4915
Lattenbach	Chaparral M24	SG-5	30.04.2014	14.01.2015	6184
Farstrinne	Chaparral M24	SM-4 / SG-5	09.07.2013	21.10.2013	2490
Farstrinne	Chaparral M24	SG-5	30.04.2014	15.10.2014	4026
Wartschenbach	Chaparral M24	SM-4	04.07.2013	16.09.2013	1771
Dristenau	MK-224	SM-4 / SG-5	06.06.2013	28.09.2013	2740
Dristenau	MK-224	SG-5	16.05.2014	24.09.2014	3141
Schüsserbach	Chaparral M24	SM-4	01.08.2013	13.09.2013	1025
Schüsserbach	Chaparral M24	SG-5	21.05.2014	17.07.2014	1364
Ischgl	Chaparral M24	SG-5	05.12.2013	25.03.2014	2639
Ischgl	Chaparral M24	SG-5	17.11.2014	open	-
Silvretta	Chaparral M24 / Mk-224	2xSG-5	17.12.2013	07.04.2014	1905
Silvretta	Chaparral M24 / Mk-224	2xSG-5	16.01.2015	open	-

Tab. 1.2: Überblick der Betriebszeiten und verwendeter Sensoren.

2. Ergebnisse - welche Ziele/Meilensteine wurden erreicht?

Beschreiben Sie die erreichten Ergebnisse. Führen Sie erzielte Leistungsdaten an. Fügen Sie exemplarisch Fotos, Zeichnungen, Diagramme, Versuchsauswertungen, Schemas von Prototypen und Versuchsaufbauten etc. ein. Dieser Teil kann durchaus in Punkt 1. integriert werden – vor allem dann, wenn jedes Arbeitskapitel seine eigenen Ergebnisse hat.

2.1. Beispiel: Detektion murarties Ereignis - Farstrinne

Die Farstrinne in der Nähe von Umhausen im Ötztal in Tirol ist ein neues Testgelände des Instituts für Alpine Naturgefahren. Das Einzugsgebiet ist über 5,5 km² groß und seit Juli 2013 mit einem Detektionssystem mit einem Chaparral Infrasschall-Sensor und einem SG-5 Geophon ausgestattet. Im August 2014 wurde die Test-Site noch mit einem Muren-Radar (H&S Hochfrequenztechnik GmbH) und eine Videokamera erweitert. Abbildung 2.1 gibt einen Überblick über die Test-Site mit der Lage der Monitoring-Station und dem Einzugsgebiet.



Abb. 2.1 Übersicht des Einzugsgebietes und der Monitoringstationen in Farstrinne (Quelle: Google Maps) und der Position des Detektionssystems

Das betrachtete Ereignis fand in der Nacht vom 30.07.2014 auf 31.07.2014 statt, wobei sich ein erster Murgang um 23:08 Uhr ereignete und danach ein zweites Ereignis wenige Stunden später um 5:00. Die Gesamtablagerung dieser beiden Ereignisse war ca. 5000 m³. Leider war das Muren-Radar zu dem Zeitpunkt des Ereignisses noch nicht in Betrieb, so gab es keine Möglichkeit, den Zeitpunkt zu verifizieren, wann dieses Ereignis aufgetreten ist.

Der Frequenzbereich des Infrasinigals dieser Ereignisse lässt eher auf murartige Ereignisse schließen, da sich die Haupt-Amplituden im 15 bis 35 Hz Band befinden. Die maximalen Amplituden der von den beiden Murgängen erzeugten Infrasschall-Signale liegen bei bis zu 400 mPa für das erste Ereignis und 800 mPa für das zweite und die max. seismische Amplituden bei bis zu 150×10^{-7} m/s bzw. 250×10^{-7} m/s. Die Infrasschall und die seismischen Signale des ersten Ereignisses sind in Abbildung 2.2 dargestellt, und des zweiten Ereignisses in Abbildung 2.3. Der Detektionszeitpunkt von beiden Ereignissen wird durch die seismische Signal bestimmt und erfolgt bei 1759 s für die Level 1 und bei 1773 s für die Level 2 beim ersten Ereignis und gleichzeitige für Level 1 und 2 bei 1307 s für das zweite Ereignis. So werden die Ereignisse jeweils 21 s bzw. 93 s (Level 1) vor dem Erreichen des Sensorstandortes (erstes Ereignis: 1780 s, zweite

Ereignis: 1400 s) detektiert. Wenn die Detektion nur auf Basis von Infraschall-Signal durchgeführt würde, wären auch Frühwarnzeiten von 98 s bzw. 213 s möglich, aber dies würde zu mehr Fehlalarmen führen. Die Limitierung der Vorwarnzeiten durch der seismischen Detektion, wurde eventuell durch einen nicht optimal ausgewählten Geophon-Standort auf der Oberseite des Damms verursacht, somit könnte die Vorwarnzeit durch eine bessere Standortwahl gesteigert werden.

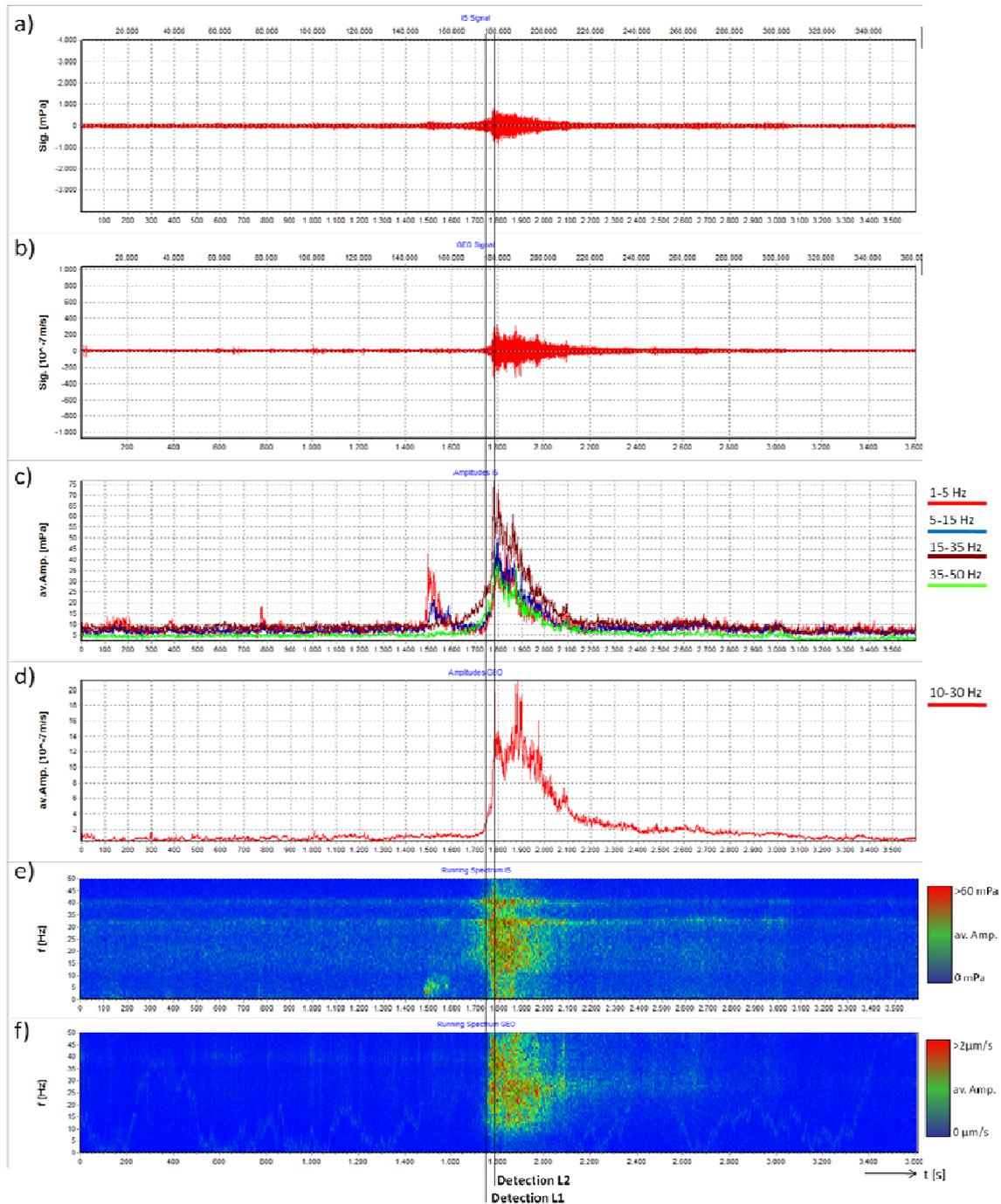


Abb. 2.2: Infraschall und seismische Daten des murenartigen Ereignisses der Test-Site Farstrinne am 30.07.2014. Signale dargestellt mit einer gemeinsamen Zeitbasis. (a) Infraschall-Zeitreihe; (b) Seismogramm; (c) Durchschnittsamplitude der vier Frequenzbänder des Infraschall-Signals; (d) Durchschnittsamplitude des Frequenzbandes des seismischen Signals; (e) Spektrum des Infraschall-Signals; (f) Spektrum des seismischen Signals; Linien: Zeit des ersten Detektion basierend auf Infraschall und seismische Daten für Level 1 und Level 2

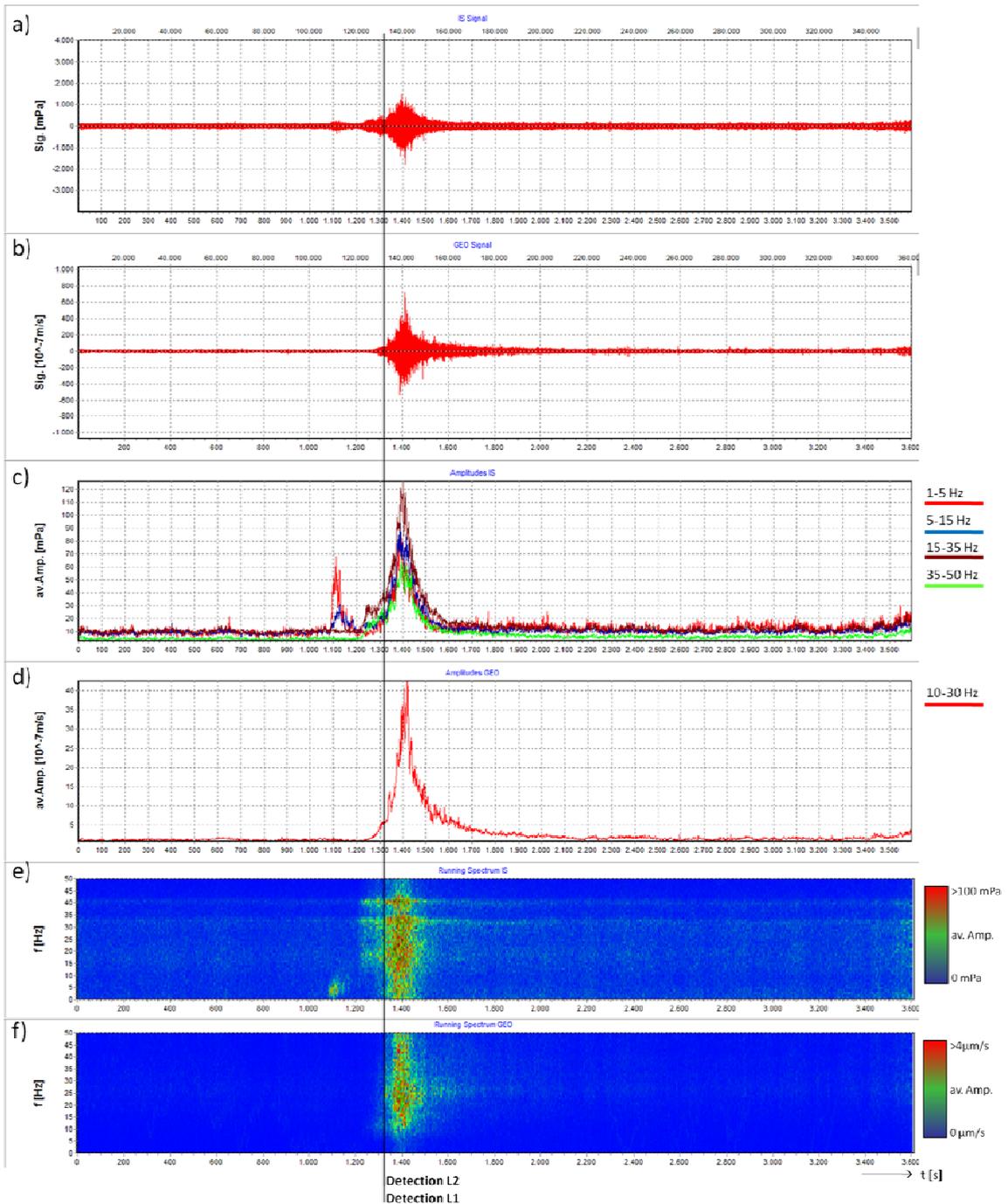


Abb. 2.3: Infraschall und seismische Daten des murenartigen Ereignisses der Test-Site Farstrinne am 31.07.2014. Signale dargestellt mit einer gemeinsamen Zeitbasis. (a) Infraschall-Zeitreihe; (b) Seismogramm; (c) Durchschnittsamplitude der vier Frequenzbänder des Infraschall-Signals; (d) Durchschnittsamplitude des Frequenzbandes des seismischen Signals; (e) Spektrum der Infraschall-Signals; (f) Spektrum des seismischen Signals; Linie: Zeit des ersten Detektion basierend auf Infraschall und seismische Daten für Level 1 und Level 2

2.2. Beispiel: Detektion murarties Ereignis - Dristenau

Der Dristenauerbach befindet sich in den nördlichen Kalkalpen in der Nähe von Pertisau in Tirol. Das Einzugsgebiet mit etwa 9,9 km² weist häufige kleinere Ereignisse mit Sedimenttransport und murartigen Prozessen auf. Zwei Messstellen (Abbildung 2.4) ausgerüstet mit Niederschlagswage, Videokamera und Radar sind im oberen Teil des Flusses installiert. Das Warnsystem mit einem MK-224 Infrasschall-Sensor und einem SM-4 Geophon (2013) bzw. ein SG-5 Geophon (2014) wurde im Juni 2013 naher der Station 1 installiert.



Abb. 2.4 Übersicht des Einzugsgebietes und der Monitoringstationen in Dristenau (Quelle: Google Maps) und der Position des Detektionssystems

Das in diesem Beispiel verwendete murenartige Ereignis wurde am 07.09.2013 um 15 Uhr aufgezeichnet. Die Infrasschall und die seismischen Signale und die Abflusstiefe sind in Abbildung 2.5 dargestellt. Die maximalen Amplituden der Infrasschall Signale betragen bis zu 400 mPa und die maximale seismischen Amplituden bis zu 200×10^{-7} m/s. Die Dauer der in der Zeitreihe der seismischen und Infrasschall-Signale identifiziert Ereignisses beträgt ca. 5000 s [2000 s bis 7000 s].

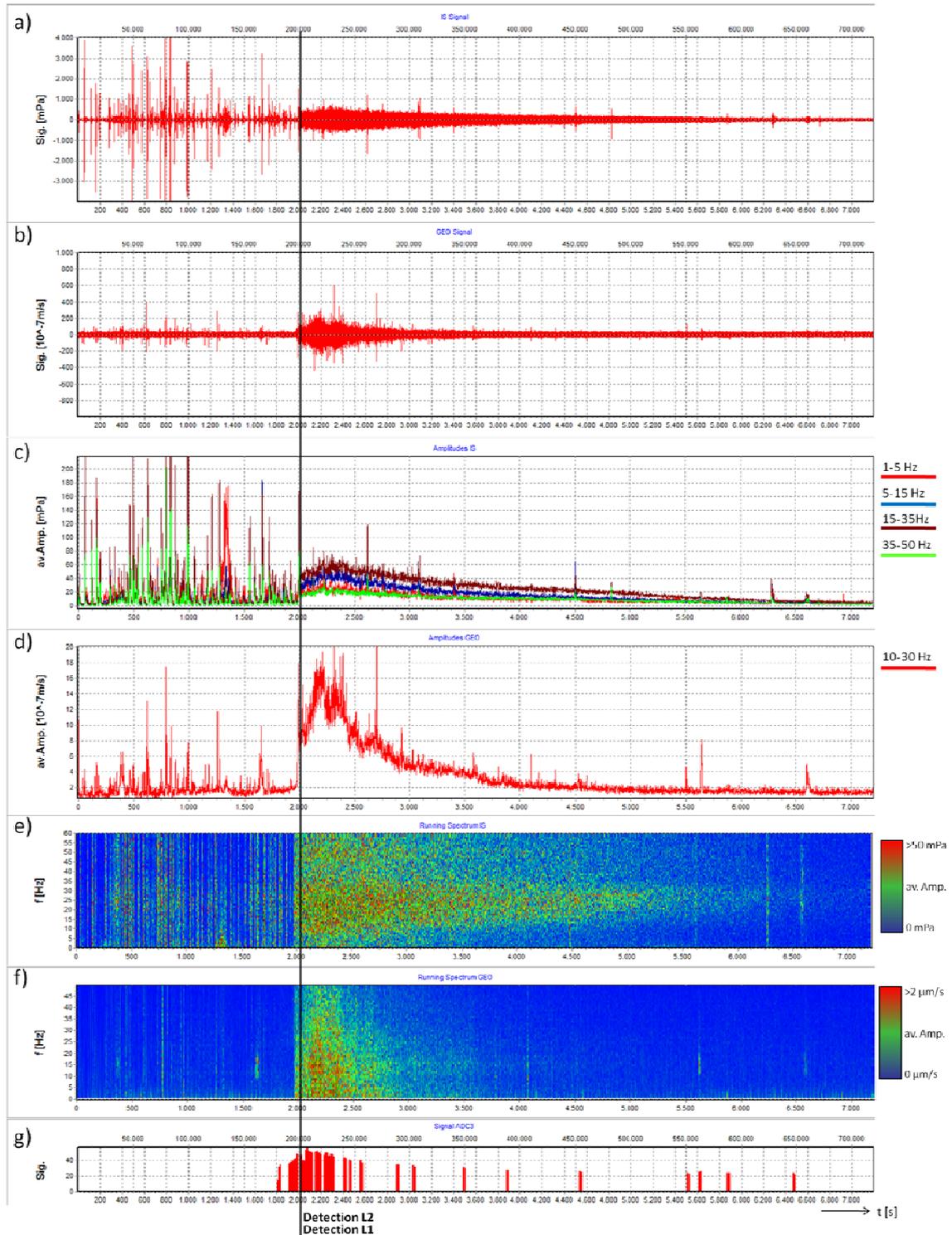


Abb. 2.5: Infraschall und seismische Daten des murenartigen Ereignisses der Test-Site Dristenau am 07.09.2013. Signale dargestellt mit einer gemeinsamen Zeitbasis. (a) Infraschall-Zeitreihe; (b) Seismogramm; (c) Durchschnittsamplitude der vier Frequenzbänder des Infraschall-Signals; (d) Durchschnittsamplitude des Frequenzbandes des seismischen Signals; (e) Spektrum der Infraschall-Signals; (f) Spektrum des seismischen Signals; (g) Abflusstiefe; Linien: Zeit des ersten Detektion basierend auf Infraschall und seismische Daten für Level 1 und Level 2

Der Detektions-Algorithmus meldet ein Event basierend auf dem Infraschall-Signal 390 s nach dem Start der Aufzeichnung, das jedoch möglicherweise eine falsche Detektion verursacht durch das Gewitter ist. Nur in Verbindung mit dem seismischen Signal gelingt eine korrekte Detektion. Die Detektion basierend auf beiden Signale erfolgt dann bei 2006 s für Level 1 und Level 2. Das bedeutet, das Ereignis kann nur detektiert werden, nachdem die Murenfront den Sensor passiert hat. Ein Grund für die späte Erkennung könnte die kleine Ereignis-Größe sein, ein weiterer Grund, dass die Monitoring-Station in unmittelbarer Nähe zum Talschluss liegt und somit nur eine kurze Strecke für eine Detektion im Voraus zur Verfügung steht. Dies zeigt, dass die Größe des Ereignisses und die territorialen Bedingungen eine starke Auswirkung auf die Detektion und die Vorwarnzeiten hat.

2.3. Beispiel: Detektion Lawine - Ischgl

Die Lawinen-Test-Site Ischgl befindet sich naher der Bundesstraße nach Galtür im Paznauntal (Tirol). Am Gegenhang befinden sich 5 Lawinen-Sprengmasten, auf der Hangseite wo des System installiert wurde befinden sich noch 2 Lawinen-Sprengmasten. Die Detektionen konnten durch ein Lawinen-Radar (H&S Hochfrequenztechnik GmbH) und einem Infraschall-Array (IDA, wysen avalanche control AG) verifiziert werden. Abbildung 2.6 gibt einen Überblick über die Test-Site mit der Lage der Monitoring-Station und den Sprengpunkten.



Abb. 2.6 Übersicht des Einzugsgebietes und der Monitoringstation in Ischgl (Quelle: IDA) und der Position des Detektionssystems (Dreieck) (Lawinen-Sprengmasten: blaue Punkte)

Die betrachtete Lawine ereignete sich am 29.01.2014 mit einer Dauer von 39 s. Die Lage der Lawine ist in Abbildung 2.6 durch den Pfeil eingezeichnet. Die Infraschall- und die seismischen Signale sind in Abbildung 2.7 dargestellt. Wie in Abbildung 2.7 ersichtlich verursachte die Lawine nur ein Infraschall-Signal, da die Dämpfung des seismischen Signals über die betrachtete Distanz zu groß ist. Die Detektion der Lawine erfolgt in sec. 1883 somit gleichzeitig mit dem Auftreten der größten Infraschall-Amplitude.

Die maximale Amplitude des Signals entspricht 400 mPa, was auf ein mittleres Ereignis schließen lässt und die Spitzen-Frequenz befindet sich bei 5 Hz.

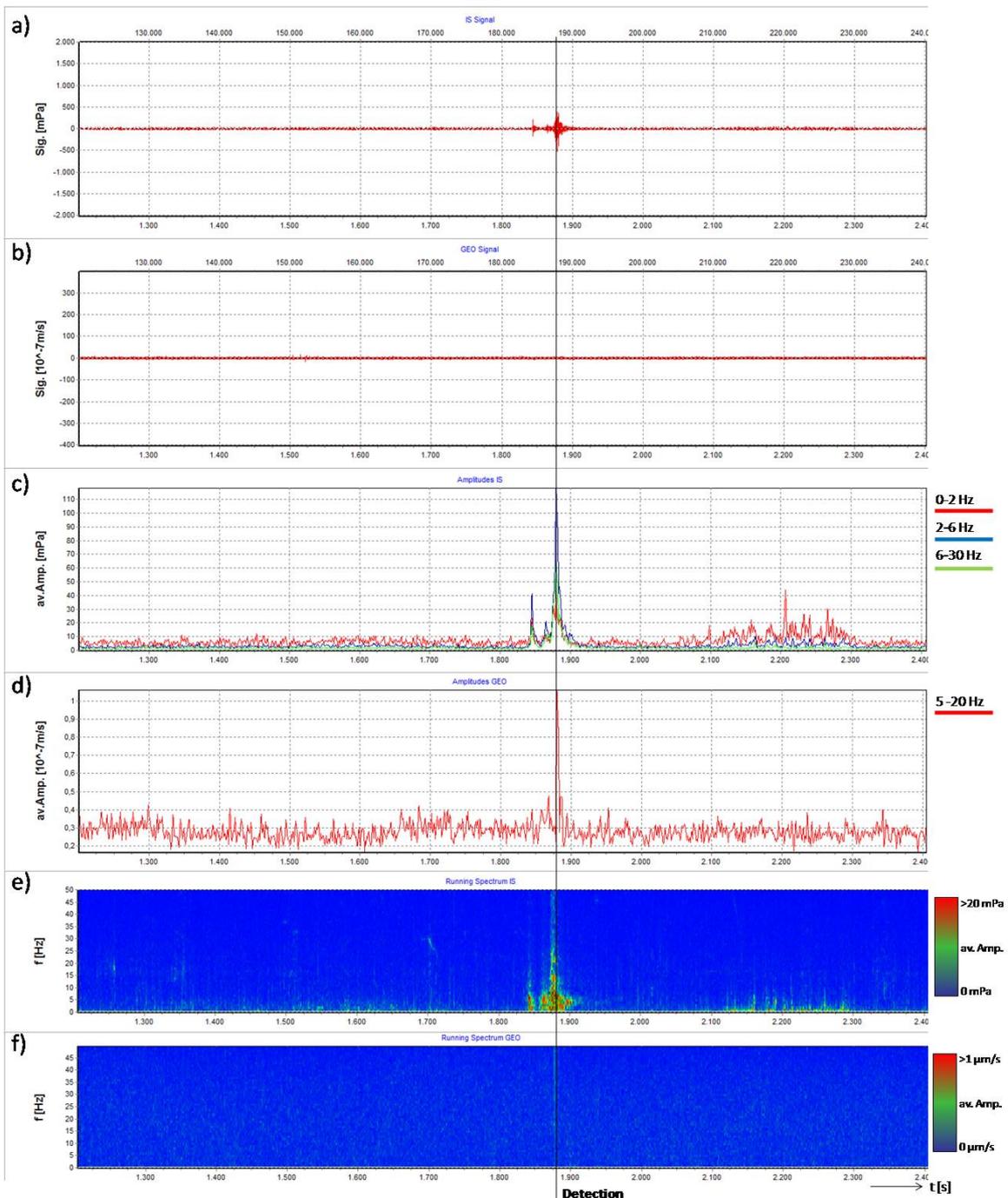


Abb. 2.7: Infraschall und seismische Daten des Lawine der Test-Site Ischgl am 29.01.2014. Signale dargestellt mit einer gemeinsamen Zeitbasis. (a) Infraschall-Zeitreihe; (b) Seismogramm; (c) Durchschnittsamplitude der vier Frequenzbänder des Infraschall-Signals; (d) Durchschnittsamplitude des Frequenzbandes des seismischen Signals; (e) Spektrum der Infraschall-Signals; (f) Spektrum des seismischen Signals; Linie: Zeit des ersten Detektion basierend auf Infraschall und seismische Daten für Level 1

2.4. Ergebnisse Test Sites (WP4, WP7)

Eine Übersicht über die Zahl der Ereignisse bei den verschiedenen Test-Sites und den Detektionen oder Fehlalarme für Muren in der Saison 2013 ist in Tabelle 2.1 dargestellt und für 2014 in Tabelle 2.2. Die Ereignisse werden entsprechend ihrer maximalen Amplitude des Infraschall-Signals in sehr kleine, kleine und mittlere Ereignisse aufgeteilt

um einen besseren Vergleich der Detektions-Ergebnisse zu ermöglichen. Im Jahr 2013 und 2014 kam es zu keinen größeren Muren bei den verwendeten Test-Sites.

Test site	Number of events			Detections			False alarms
	very small <100mPa	small >100mPa <400mPa	medium >400mPa	very small <100mPa	small >100mPa <400mPa	medium >400mPa	
Lattenbach	0	0	0	0	0	0	4
Wartschenbach	5	6	1	3	3	1	0
Farstrinne	0	0	0	0	0	0	0
Dristenau	18	4	4	12	4	4	2
Schüsserbach	2	3	1	0	3	1	1
				60%	77%	100%	7

Tab. 2.1 Überblick Ereignisse und Detektionen in der Saison 2013

Test site	Number of events			Detections			False alarms
	very small <100mPa	small >100mPa <400mPa	medium >400mPa	very small <100mPa	small >100mPa <400mPa	medium >400mPa	
Lattenbach	3	0	0	2	0	0	0
Farstrinne	0	0	2	0	0	2	0
Dristenau	10	1	1	4	1	1	3
Schüsserbach	0	0	0	0	0	0	0
				46%	100%	100%	3

Tab. 2.2 Überblick Ereignisse und Detektionen in der Saison 2014

Alle mittelgroße Ereignisse mit Infraschall-Amplituden größer als 400 mPa wurde in beiden Jahren erfasst und auch die kleineren Ereignisse wurden mit hoher Genauigkeit detektiert. Die auf dem Lattenbach im Jahr 2013 registrierten Fehlalarme wurden durch ein nicht korrekt arbeitendes Geophon verursacht. Mit dem Wechsel des Geophons auf dem Testgelände Lattenbach im Jahr 2014 wurde keine weiteren Fehlalarme mehr registriert. Die Fehlalarme bei Dristenau sind unbekannter Herkunft. Bei Detektionen der Stufe 2 erfolgte nur ein Fehlalarm im Jahr 2013 auf dem Testgelände Lattenbach und einer in 2014 in Dristenau.

Tabelle 2.3 zeigt die Ergebnisse der Lawinendetektion in Ischgl für die Saison 2013/2014 aufgeteilt in künstlich und natürlich ausgelöste Lawinen.

Aufgrund der nur auf Infraschall basierenden Detektion, kommt es zu mehreren Fehlalarmen und da die künstlich ausgelösten Lawine meist eher klein sind war auch nur eine Detektion einer gesprengten Lawine möglich.

Bei der Test-Site Silvretta-Montafon kam es im Winter 2013/2014 zu nur sehr kleinen künstlich ausgelösten Lawinen, die nicht detektiert werden konnten.

Die Auswertung für die Saison 2014/2015 liegt noch nicht vor.

Test site	Number of events		Detections		False alarms
	artificial	natural	artificial	natural	
Ischgl	4	3	1	2	6
			38%	67 %	

Table 2.3 Überblick Lawinen und Detektionen in der Saison 2013/14

2.5 Veröffentlichungen (WP9)

2014:

Schimmel, A; Hübl, J (2014): Approach for an Early Warning System for Debris Flow Based on Acoustic Signals.

IAEG XII 2014, Turin, ITALY, SEPT 15-19, 2014

In: Lollino, G. et al. (Ed.), Engineering Geology for Society and Territory, Volume 3, S. 55-58

2013:

Hübl, J; Schimmel, A; Kogelnig, A; Surinach, E; Vilajosana, I; McArdeell, B.W. (2013): A review on acoustic monitoring of debris flow.

International Journal of Safety and Security Engineering, Vol. 3, No. 2, 105-115; ISSN 2041-9031

Hübl, J; Schimmel, A; Kogelnig, A (2013): Infrasound from debris flows and debris floods.

International workshop of acoustic and seismic monitoring of bedload and mass movements, Birmensdorf, 4.-7. Sept. 2013

In: Rickenmann, D; Laronne, J.B; Turowski, J.M; Vericat, D (Eds.), Abstracts, S. 32-33

Schimmel, A; Hübl, J (2013): Development of a debris flow warning system based on a combination of infrasound and seismic signals. [Poster]

International workshop of acoustic and seismic monitoring of bedload and mass movements, Birmensdorf, 4.-7. Sept. 2013

In: Rickenmann, D; Laronne, J.B; Turowski, J.M; Vericat, D (Eds.), Abstracts, S. 98-99

Schimmel, A; Hübl, J (2013): Automatic detection of avalanches using infrasound and seismic signals.

International Snow Science Workshop, Grenoble, 7.-11. Okt. 2013

In: Naaim-Bouvet, F; Durand, Y; Lambert, R (Eds.), Proceedings of ISSW2013, S. 904-908

Weitere Veröffentlichungen sind noch in Arbeit.

3. Schwierigkeiten – welche Ziele/Meilensteine wurden nicht erreicht?

Beschreiben Sie welche Lösungsansätze oder Projektteile nicht realisiert wurden und führen Sie eine Begründung an.

Der Detektionsalgorithmus für Lawinen ist aufgrund der seltenen und sehr kleinen Lawinenabgängen in den Testgebieten des schneearmen Winters 2013/14 noch nicht ausgereift. Da die Detektion aufgrund der kaum vorhandenen seismischen Signale in der aktuellen Version nur noch auf Infraschall basiert, ist das System anfälliger für Fehlalarme. Die Standorte im Testgebiet Silvretta-Montafon waren in der Saison 2013/2014 sehr stark Störsignale des Skigebietes ausgesetzt und es konnte daher kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Mit der Wahl eines neuen Standortes im Winter 2014/2015 werden auch auf dieser Test-Site bessere Ergebnisse erwartet.

4. Zusammenfassung und Resümee, Wirtschaftliche Verwertung

Ziehen Sie ein Resümee über das durchgeführte Projekt und führen Sie an, welche Maßnahmen zur wirtschaftlichen Verwertung gesetzt wurden. Ergänzen Sie diesen Bericht mit dem Status von Patenanmeldungen.

Die Nutzung von seismischen und Infraschall-Sensoren für Monitoring und Detektion alpiner Massenbewegungen ist keine unkomplizierte Aufgabe. Das Verständnis der Ausbreitung und Dämpfungsmechanismen seismische und Infraschallwellen, sowie der Eigenschaften des Hintergrundrausch und der Störgeräusche ist wesentlich für die Interpretation der seismischen und Infraschall-Signale und der Entwicklung eines Detektions-Algorithmus. Die Auswahl und die Anordnung der Sensoren müssen ebenfalls sorgfältig geprüft werden.

Zusammenfassend bestätigt die Analyse, dass Murgänge und Lawinen seismische und Infraschall Signale erzeugen, die auf unterschiedlichen Test-Sites und unter verschiedenen Umweltbedingungen reproduzierbar sind und daher kann die Kombination von Infraschall und seismische Sensoren für eine automatische Detektion alpiner Massenbewegungen herangezogen werden. Es erfordert aber noch ein größere Datenbasis von Muren und Lawinen um den Detektions-Algorithmus zu verifizieren und eine genauere Aussage über zu erwartenden Vorwarnzeiten zu gewähren.

Eine wirtschaftliche Verwertung des Detektions-Systems, in etwa zur Verifizierung von Lawinenabgängen nach Sprengung oder zur Sperrung von Eisenbahnlinien oder Straßen bei Muren, als potentiell Einsatzgebiet für solch ein System erfordert jedenfalls noch weitere Forschungsarbeit und eine breite Datenbasis von aufgezeichneten Ereignissen.

Das System wird als Basis für das Folgeprojekt "Identification of sediment-related disaster based on seismic and acoustic signals (MM-Identification)" der ÖAW Forschungsinitiative "Earth System Sciences (ESS)" dienen. Dieses Projekt hat zum Ziel, mehr Information über Ereignistyp und Ereignisgröße aus dem Infraschall und seismischen Daten zu gewinnen, und bietet somit die Möglichkeit das Detektions-System weiter zu entwickeln und zu testen.

5. Endabrechnung

Für die **Endabrechnung** ist die Vorlage der FFG zu verwenden (<http://www.ffg.at/getdownload.php?id=4848>).

Beachten Sie den Kostenleitfaden: www.ffg.at/kostenleitfaden

Abweichungen vom Kostenplan sind an dieser Stelle zu beschreiben und zu begründen.

Es traten keine wesentlichen Abweichungen vom Kostenplan ein.