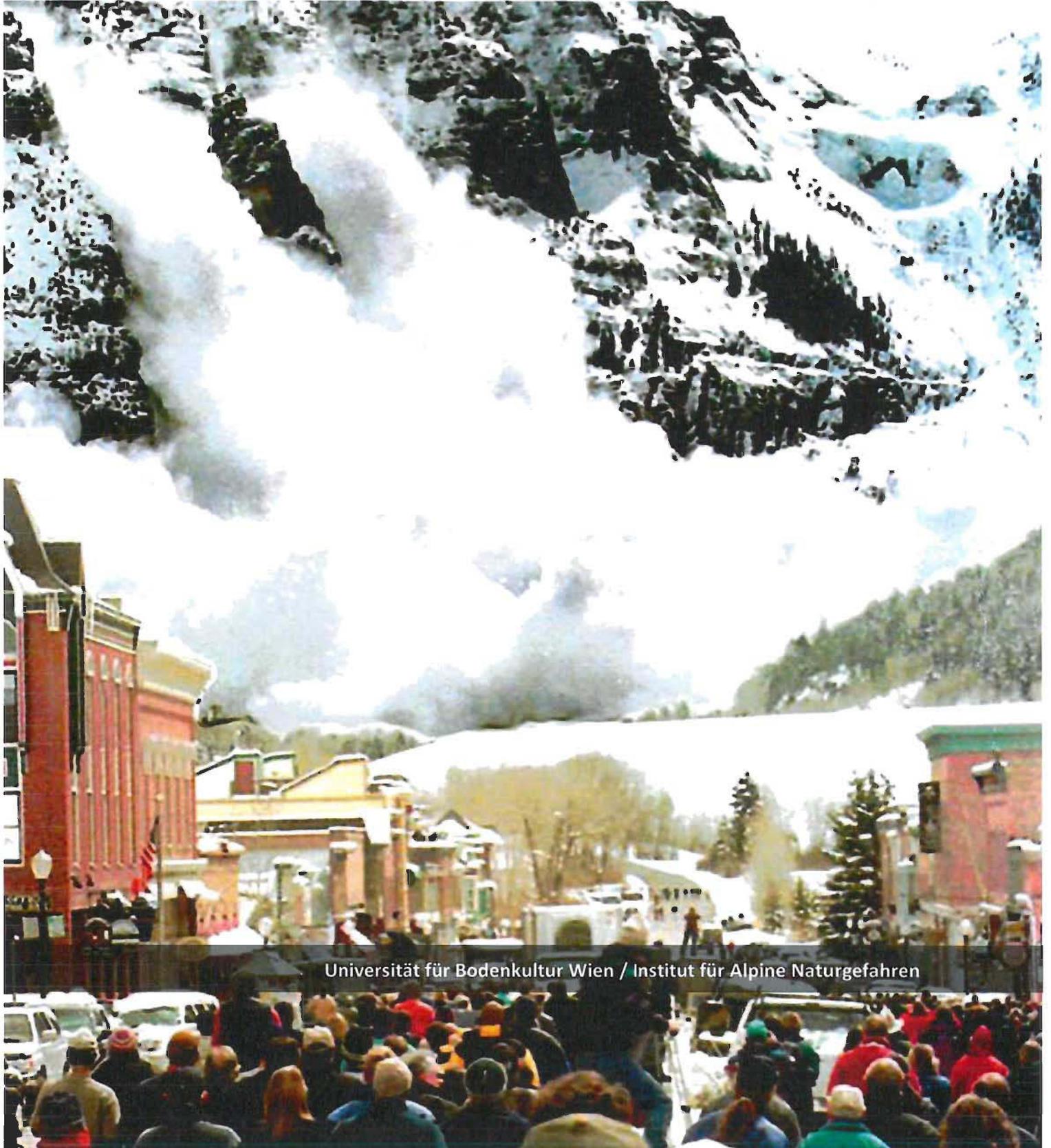


# Beurteilung von Lawinendetektionssystemen und Entwicklung eines Funktionsschemas für eine einfache Detektionsanlage



Universität für Bodenkultur Wien / Institut für Alpine Naturgefahren



# **Evaluation of Avalanche Detection Systems and Development of a Plan for a Simple Detection System**

Beurteilung von Lawinendetektionssystemen und Entwicklung eines Funktionsschemas für  
eine einfache Detektionsanlage

## **Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

Am Departement für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Alpine Naturgefahren

Universität für Bodenkultur Wien

Verfasst und eingereicht von:

**Christian Kienberger**

Betreuer: Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Johannes Hübl

Mitbetreuer: Univ. Ass. Mag. Dr. Thomas Wiesinger

Wien, November 2013

Cover – Photographie: Künstlich ausgelöste Staublawine mit 100-facher akustischer  
Lawinendetektion in Telluride (Collorado, USA), Foto: Rick Wyatt

## **ABSTRACT - English**

Since artificial avalanche releases are used more and more often for the protection of infrastructural and touristic objects, the importance of avalanche detection systems is ever increasing. These detection systems offer the possibility to determine spontaneous and artificial released avalanches. Some detection systems are already on the market, but until the end of winter 2011/2012 only the avalanche radar could satisfy the standards for availability and reliability. It was one aim of the study to find out, if there have been any advancements between winter 2011/2012 and 2012/2013. This was made by a comparison of the different detection results which are mentioned in the final report of the project avalanche detection from the institute of snow and avalanche research – SLF (Lussi et al., 2012) with the results from the detection applications of the winter 2012/2013. Finally, no substantial improvements have been found, but the combination of geophones/seismometers with infrasound has potential, in case a detection of avalanches including the size 3 (medium avalanches) and bigger is sufficient. Furthermore it was an aim of this study to find out, if it is possible to get more information concerning the size of an avalanche, the type of an avalanche, etc. from the different detection results. This could give decision-makers in the avalanche sector a valuable tool to evaluate avalanche risk. It was possible to realize this aim for almost all detection systems, but it has to be mentioned that not all detection applications have the same potential to provide this kind of information. Additionally, two simple schemes for detection systems have successfully been tested. The attempts have been very promising, but for the practicable use much more scientific actuation has to be taken into consideration.



## **ABSTRACT – Deutsch**

Lawinendetektionsanlagen sind durch die immer häufigere Verwendung von künstlichen Lawinenauslösungen zum Schutz von infrastrukturellen oder touristischen Objekten von steigender Bedeutung. Mittels dieser Detektionssysteme ist es möglich, sowohl spontane als auch künstliche Lawinenabgänge feststellen zu können. Obwohl sich bereits mehrere Anlagen am Markt befinden, konnte bis zum Lawinenwinter 2011/2012 lediglich das Lawinenradar die Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer Lawinendetektionsapplikation erfüllen. Durch einen Vergleich der Detektionsergebnisse des vom Institut für Schnee- und Lawinenforschung – SLF herausgegebenen Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) mit jenen aus dem Winter 2012/2013 wurde analysiert, ob es zwischen diesen beiden Lawinenwintern Weiterentwicklungen der Systeme gab. Dabei konnten keine wesentlichen Verbesserungen an den diversen Lawinendetektionsapplikationen festgestellt werden. Jedoch zeigte die Kombination Geophone/Seismometer mit Infraschall Potential, sofern man sich mit einer Detektion von Lawinen einschließlich der Größe 3 (mittlere Lawinen) und größer zufrieden geben kann. Des Weiteren wurde versucht, aus den Detektionsergebnissen der diversen Systeme weitere Informationen hinsichtlich Lawinengröße, Auslauflänge, Lawinenart, etc. ableiten zu können, um den Entscheidungsträgern in der Lawinenthematik ein nützliches Hilfsmittel zur Einschätzung der Lawinengefahr zur Verfügung zu stellen. Dies konnte bei den meisten Applikationen realisiert werden, wobei nicht alle Systeme das gleiche Potential dafür besitzen. Zu guter Letzt wurde mit Erfolg versucht, anhand zweier einfacher Funktionsschemata weitere Wege für preiswertere Lawinendetektionssysteme aufzuzeigen. Die Versuche waren dabei durchwegs vielversprechend, für eine praxistaugliche Umsetzung ist jedoch noch viel Forschung nötig.



Gewidmet meinen Eltern sowie meiner Sabrina  
für die Unterstützung während  
meines Studiums



Gib mir Schnee, gib mir Hunde, und den Rest kannst du behalten.

Knud Rasmussen, 1879-1933



# INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	III
TABELLENVERZEICHNIS .....	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	VII
VORWORT und DANKSAGUNGEN .....	9
1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Grundlagenwissen .....	4
1.1.1 Ausbreitung mechanischer Wellen in Gasen.....	4
1.1.2 Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern .....	9
1.1.3 Kopplungseffekte (hörbarer Schall, Infrasound & Seismik) .....	15
1.1.4 Radartechnologie .....	17
1.1.5 Elektromagnetische Hochfrequenzstrahlung im Frequenzbereich des Mobilfunkes ...	21
1.1.6 Optische Zeitbereichsreflektometrie (OTDR).....	23
1.2 Lawinendetektionssysteme.....	24
1.2.1 ARFANG (Infrasound) .....	24
1.2.2 Avalanche Sentry (Infrasound) .....	28
1.2.3 IDA (Infrasound) .....	31
1.2.4 UHU (Infrasound) .....	34
1.2.5 Lawinenradar (Radartechnologie).....	37
1.2.6 Radar LISA (Radartechnologie).....	41
1.2.7 Radar Sommer/tytec/Metek (Radartechnologie) .....	43
1.2.8 System AlpuG (Seismik).....	44
1.2.9 System SensAlpin (Seismik).....	46
1.2.10 Avalanche Detector (OTDR).....	47
1.3 Die alpine Massenbewegung Lawine .....	48
1.3.1 Größenklassifikation von Lawinen.....	51
2 Methodik .....	52
2.1 Analyse & Interpretation der Ergebnisse diverser Lawinendetektionsanlagen.....	55
2.1.1 Datenmaterial.....	56
2.1.2 ARFANG (Infrasound) .....	57
2.1.3 UHU (Infrasound) .....	63
2.1.4 AlpuG (Seismik).....	64
2.1.5 IDA (Infrasound) .....	66

2.1.6	Lawinenradar (Radartechnologie).....	69
2.2	Entwicklung eines Funktionsschemas für ein einfaches Detektionssystem .....	72
2.2.1	Funktionsschema hochfrequente elektromagnetische Strahlung .....	72
2.2.2	Funktionsschema hörbarer Schall .....	75
3	Ergebnisse.....	79
3.1	Weiterführung des SLF – Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion und Vergleich der Ergebnisse .....	81
3.1.1	ARFANG (Infrasound) .....	81
3.1.2	UHU (Infrasound) .....	87
3.1.3	AlpuG (Seismik).....	90
3.1.4	IDA (Infrasound) .....	93
3.1.5	Lawinenradar (Radartechnologie).....	96
3.1.6	Zusammenfassung Kapitel 3.1.1 – 3.1.5.....	98
3.2	Detailanalyse der Rohdaten der Detektionssysteme .....	101
3.2.1	ARFANG (Infrasound) .....	101
3.2.2	AlpuG (Seismik).....	104
3.2.3	IDA (Infrasound) .....	108
3.2.4	Lawinenradar (Radartechnologie).....	110
3.3	Feldversuche am Kitzsteinhorn zur Entwicklung eines Funktionsschemas für ein einfaches Detektionssystem.....	113
3.3.1	Funktionsschema hochfrequente elektromagnetische Strahlung .....	114
3.3.2	Funktionsschema hörbarer Schall .....	115
4	Diskussion & Ausblick .....	119
5	Zusammenfassung.....	123
6	Literaturverzeichnis .....	125
7	ANHANG .....	131

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Frequenzbandbreiten für Infrasound, hörbaren Sound und Ultrasound (Igel, 2012) .....	4
Abbildung 2: Die Wellenform leerer Pistolenschüsse mit und ohne Schneebedeckung (aus Albert et al., 2008).....	6
Abbildung 3: Die Abschwächung des Schalls durch die Schneebedeckung für eine Ausbreitungsdistanz von 100m (aus Albert et al., 2008) .....	7
Abbildung 4: Die Kompressionswelle bzw. Primärwelle (Braile, 2010).....	10
Abbildung 5: Die Scherwelle bzw. Sekundärwelle (Braile, 2010) .....	10
Abbildung 6: Rayleigh Welle (Braile, 2010) .....	11
Abbildung 7: Love Welle (Braile, 2010) .....	12
Abbildung 8: Schema der zwei möglichen Kopplungseffekte (aus Kogelnig, 2012c).....	15
Abbildung 9: Das Grundprinzip eines Radars (aus Wolff, 2012) .....	17
Abbildung 10: Atmosphärische Dämpfungsverluste (aus Wolff, s.a.d).....	18
Abbildung 11: Die verschiedenen Radarverfahren (aus Weihard, 2010).....	19
Abbildung 12: Diagramm eines phasencodierten Sendempulses (Wolff, s.a.c) .....	20
Abbildung 13: Erklärung der Begriffe Abschattung, Beugung, Reflexion und Streuung (aus Virnich, 2004).....	22
Abbildung 14: Reflexionsverhalten diverser Phänomene (ITWissen, 2013) .....	23
Abbildung 15: Schema eines Detektionssystems (aus Lussi et al., 2012) .....	24
Abbildung 16: Infrasondmikrofon - ARFANG .....	25
Abbildung 17: Die zentrale Datenerfassungseinheit sowie Position eines der Infrasschallmikrofone - ARFANG .....	25
Abbildung 18: Die zentrale Elektronikeinheit – AVALANCHE SENTRY (aus Egli, 2006).....	28
Abbildung 19: Das Sensorarray mit den 6 Gummischläuchen, welche die Schallwellen zu den Mikrofonen leiten – AVALANCHE SENTRY (aus Egli, 2006) .....	28
Abbildung 20: Infrasondsensor – IDA (aus Kogelnig, 2012a) .....	31
Abbildung 21: Zentrale Einheit - IDA (aus Kogelnig, 2012a).....	32
Abbildung 22: Erklärung des Prinzips der Signalkohärenz (aus Ulivieri et al., 2011) .....	32
Abbildung 23: Einer der Infrasondsensoren – UHU (aus Schoch, 2012) .....	34
Abbildung 24: Die Zentraleinheit mit Funkantenne - UHU .....	35
Abbildung 25: "Range Gates" oder Entfernungstore – Lawinenradar (aus Kogelnig, 2012b) .....	37
Abbildung 26: Beleuchtung eines Berghanges aus der Sicht von oben - Lawinenradar (aus Hofbauer und Koschuch, 2012) .....	38
Abbildung 27: Das Lawinenradar mit der gut sichtbaren Parabolantenne - Ischgl.....	38
Abbildung 28: Visualisierung einer Lawine mit dem von H&S entwickelten Tool – Lawinenradar .....	39
Abbildung 29: System LISA – Radartechnologie (aus Burkard und Gauderon, 2008).....	41
Abbildung 30: Funktionsprinzip des Radars Sommer und Co. – Radartechnologie (aus Meier und Lussi, 2011).....	43
Abbildung 31: Geophon – Seismik (aus Gubler, 2012b).....	45
Abbildung 32: Schneebrettlawine in Pisch, Davos (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Foto: T. Wiesinger) .....	48
Abbildung 33: Nasse Lockerschneelawine (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013).....	48

Abbildung 34: Trockene Lockerschneelawine (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013).....	48
Abbildung 35: Staublawine Vallee de la Sionne (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 10.02.1999) .....	49
Abbildung 36: Gleitschnee- bzw. „Fischmaul“ (Lawinenwarndienst Tirol, 2013) .....	49
Abbildung 37: Querschnitt einer Mischlawine sowie Darstellung der Quellen seismischer und akustischer Emissionen (aus: modifiziert nach McClung und Schaerer, 2006 und Gauer et al., 2008 in Kogelnig, 2012c) .....	50
Abbildung 38: Größenklassifikation von Lawinen (Lawinenwarndienst Tirol, 2013).....	51
Abbildung 39: Übersichtsskizze Gonda – Lawinen (aus Kindschi, s.a.) .....	52
Abbildung 40: UHU - Position der Zentraleinheit (blauer Punkt) sowie der einzelnen Sensoren (rote Punkte) (aus Lussi et al., 2012).....	53
Abbildung 41: AlpuG – Position der beiden Geophone (aus Lussi et al., 2012).....	53
Abbildung 42: Großtallawine Ischgl.....	53
Abbildung 43: Anbruchkessel der Großtallawine (H&S Hochfrequenztechnik GmbH, s.a.b) .....	53
Abbildung 44: Ausrichtung des Lawinenradars in Richtung Großtallawine .....	54
Abbildung 45: Meldeformular zur Gonda Lawine, Unterengadin, Schweiz - Peder Caviezel (2012) ....	57
Abbildung 46: Sprengprotokoll zur Gonda Lawine, Unterengadin, Schweiz - Peder Caviezel (2012) ..	58
Abbildung 47: Steigender Azimuth & außerhalb Azimuthbandbreite – ARFANG.....	59
Abbildung 48: Stark schwankender Azimuth – ARFANG.....	60
Abbildung 49: Azimuthverlauf einer Lawine - ARFANG .....	60
Abbildung 50: Keine Lawine detektiert – ARFANG.....	61
Abbildung 51: Kriteriensumme ergibt Fehldetektion – ARFANG .....	61
Abbildung 52: Detailanalyse einer Lawine - ARFANG .....	62
Abbildung 53: Laufendes Spektrum des Infrasondsignals – UHU .....	63
Abbildung 54: Meldeformular Ischgl, Österreich - Albert Siegele (2012) .....	66
Abbildung 55: Wellenform des Infrasondsignals - IDA.....	67
Abbildung 56: Laufendes Spektrum des Infrasondsignals - IDA.....	67
Abbildung 57: Frequenzverteilung des Infrasondsignals – IDA.....	67
Abbildung 58: Range – Gate – Oberfläche des „ProfiViewers“ – Lawinenradar.....	69
Abbildung 59: Zeit – Oberfläche des „ProfiViewers“ – Lawinenradar .....	70
Abbildung 60: Versuchsanlage hochfrequente elektromagnetische Strahlung.....	72
Abbildung 61: Messung mit DECT und mit Schneeabschirmung .....	73
Abbildung 62: Messung mit DECT ohne Schneeabschirmung.....	73
Abbildung 63: Mikrofon für hörbaren Schall.....	75
Abbildung 64: Versuchsanlage hörbarer Schall.....	75
Abbildung 65: Vergrabenes Mikrofon am Ende der Schispur zur Detektion von hörbarem Schall .....	77
Abbildung 66: Vergrabenes Mikrofon nach künstlich ausgelöstem Schneerutsch.....	77
Abbildung 67: Auswertung Winter 2011/2012 SLF - ARFANG (aus Lussi et al., 2012).....	82
Abbildung 68: Auswertung Winter 2011/2012 – ARFANG (Tab.1/ANHANG) .....	83
Abbildung 69: Auswertung Winter 2012/2013 – ARFANG (Tab.2/ANHANG) .....	83
Abbildung 70: Unsichere Lawinenabgänge Winter 2011/2012 – ARFANG (Tab.1/ANHANG) .....	84
Abbildung 71: Unsichere Lawinenabgänge Winter 2012/2013 – ARFANG (Tab.2/ANHANG) .....	85
Abbildung 72: Verfügbarkeit des ARFANGS im Winter 2012/2013 (aus Schoch, 2013). .....	86
Abbildung 73: Auswertung Winter 2012/2013 – UHU (Tab.3/ANHANG) .....	87
Abbildung 74: Vergleich der Detektionsrate ARFANG – UHU (Tab.3/ANHANG) .....	88

Abbildung 75: Verfügbarkeit des UHUs im Winter 2012/2013 (aus Schoch, 2013).....	88
Abbildung 76: Auswertung Winter 2011/2012 SLF – AlpuG (aus Lussi et al., 2012).....	90
Abbildung 77: Auswertung Winter 2012/2013 – AlpuG (Tab.4/ANHANG).....	91
Abbildung 78: Auswertung Winter 2012/2013 ohne Radaralarne – IDA (Tab.5/ANHANG) .....	93
Abbildung 79: Auswertung Winter 2012/2013 mit Radaralarne – IDA (Tab.6/ANHANG) .....	94
Abbildung 80: Auswertung Winter 2012/2013 – Lawinenradar .....	96
Abbildung 81: Auswertung Winter 2011/2012 – SLF – Lawinenradar (aus Lussi et al., 2012).....	96
Abbildung 82: Kategorien für die Quantifizierung der Leistung eines Detektionssystems (aus Lussi et al., 2012).....	98
Abbildung 83: Definition der Leistungsparameter (aus Lussi et al., 2012). .....	99
Abbildung 84: Nassschneelawine - ARFANG. ....	101
Abbildung 85: Trockenschneelawine - ARFANG.....	102
Abbildung 86: mV – Verläufe beim Geophon West – AlpuG.....	104
Abbildung 87: Pulsverläufe beim Geophon West – AlpuG.....	105
Abbildung 88: Pulssummen beim Geophon West – AlpuG.....	105
Abbildung 89: mV – Verläufe beim Geophon Ost – AlpuG .....	106
Abbildung 90: Pulsverläufe beim Geophon Ost – AlpuG .....	106
Abbildung 91: Pulssummen beim Geophon Ost - AlpuG .....	107
Abbildung 92: Topographie der Großtallawine in Ischgl (aus Kogelnig, 2012b). .....	110
Abbildung 93: Schneeprofil am Kitzsteinhorn (17.04.2013/13:00) in unmittelbarer Nähe der Feldversuche .....	113
Abbildung 94: Horizontale Schneelöcher – Messung Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee	114
Abbildung 95: Messung der Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee – Schneeloch 1 .....	115
Abbildung 96: Messung der Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee – Schneeloch 2 .....	115
Abbildung 97: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Gehen – 60cm Tiefe.....	116
Abbildung 98: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Gehen – 120cm Tiefe.....	117
Abbildung 99: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Schneerutsch (10-15cm mächtig, 3m breit, 12m lang) .....	117

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Validierte Lawinen 2011/2012 - Gonda.....	79
Tabelle 2: Validierte Lawinen 2012/2013 - Gonda.....	80
Tabelle 3: Validierte Lawinen 2012/2013 – Ischgl (Großtal).....	80
Tabelle 4: Validierte Lawinen 2012/2013 – Ischgl (Außerhalb Großal).....	80
Tabelle 5: Lawinenaktivität Winter 2011/2012 – ARFANG - Gonda .....	82
Tabelle 6: Lawinenaktivität Winter 2012/2013 – ARFANG - Gonda .....	82
Tabelle 7: Ermittelte Leistungsparameter im Winter 2011/2012 .....	99
Tabelle 8: Ermittelte Leistungsparameter im Winter 2012/2013 .....	99
Tabelle 9: Größenklassifikation Trockenschneelawinen - ARFANG .....	102
Tabelle 10: Größenklassifikation Nassschneelawinen - ARFANG.....	103
Tabelle 11: Größenklassifikation von Nass- und Trockenschneelawinen - IDA .....	108
Tabelle 12: Größenklassifikation von Nass- und Trockenschneelawinen – Lawinenradar.. .....	111
Tabelle 13: Zusammenfassung des Vergleiches der Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 zur Erkennung etwaiger Verbesserungen .....	119

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Ah:	Amperestunde
dB:	Dezibel
dB SPL:	Schalldruckpegel
cm:	Zentimeter
DC:	Gleichstrom (Direct Current)
DECT:	Digitale, verbesserte schnurlose Telekommunikation (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
DIL:	zweireihiges Gehäuse (Dual In-Line)
DIN:	Deutsches Institut für Normung
FAR:	Fehlalarmanteil (False Alarm Ratio)
GHz:	Gigahertz
Hz:	Hertz
km:	Kilometer
m:	Meter
mA:	Milliampere
mbar:	Millibar
MHz:	Megahertz
ms:	Millisekunden
mV:	Millivolt
Pa:	Pascal
PC:	Personal Computer
POD:	Detektionswahrscheinlichkeit (Probability of Detection)
s.a.:	Jahreszahl unbekannt (sine anno)
sec:	Sekunde
SLF:	WSL - Institut für Schnee – und Lawinenforschung
SVM:	Support Vector Machine
USB:	Universal Serial Bus
V:	Volt
VA:	Voltampere
WSL:	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
μW:	Mikrowatt



## **VORWORT und DANKSAGUNGEN**

Von Kindesbeinen an hat mich der Schnee in besonderem Ausmaß fasziniert. Schon bald folgten durch familiäre Schiurlaube erste Sichtungen von Lawinen, wobei ich für diese Naturgefahren stets Bewunderung als auch Demut empfand. Im Lauf meines Studiums lernte ich die Prozesse in der Schneedecke und Lawine besser kennen und beschloss, meine Masterarbeit in diesem Kontext zu schreiben.

Dies wäre aber nicht ohne die großartige Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen möglich gewesen.

Für die Möglichkeit, im Fachbereich der Lawinendetektion meine Arbeit schreiben zu dürfen, möchte ich mich bei meinem Betreuer Johannes Hübl recht herzlich bedanken.

Ein Danke in besonders großem Ausmaß möchte ich meinem Mitbetreuer Thomas Wiesinger, für die zahlreichen Gespräche und Ratschläge sowie die tatkräftige Unterstützung bei den Feldversuchen am Kitzsteinhorn aussprechen.

Große Dankbarkeit empfinde ich auch gegenüber Arnold Kogelnig von Wyssen Avalanche Control, welcher meine schier nie enden wollenden Fragen stets mit großer Geduld beantwortete und mir für die Datenanalyse seine Skripts sowie eine MATLAB – Einführung zur Verfügung stellte.

Des Weiteren möchte ich mich bei Marcel Schoch vom SLF für die Unterstützung mit Rohdaten der Detektionsanlagen in Gonda und den regen Mailverkehr zu deren Auswertung recht herzlich bedanken.

In besonders angenehmer Erinnerung werde ich meinen Besuch in Gonda bzw. Ftan bei Peder Caviezel & Curdin Egler vom Tiefbauamt Graubünden und Jörg Kindschi von Kindschi Ingenieure und Geometer behalten. Bei ihnen möchte ich mich auf diesem Wege für die Unterstützung bei der Lawinenuvalidierung bedanken.

Die Datenauswertung der einzelnen Lawinendetektionsanlagen wäre ohne die Unterstützung von Lorenz Meier von Geopraevent, Hansueli Gubler von AlpuG, Emanuele Marchetti von Item Geophysics und Daniel Stock von H&S nicht möglich gewesen. Auch hier möchte ich ein herzliches Danke zum Ausdruck bringen.

Der Aufbau des akustischen Testsystems wäre ohne die Hilfestellung von Karl Heinz Kopp, welcher die Homepage [www.derbrummtton.de](http://www.derbrummtton.de) betreibt, nicht realisierbar gewesen. Für die technischen Auskünfte sowie die Bauanleitungen möchte ich mich bedanken.

Zu guter Letzt möchte ich mich insbesondere bei meiner Familie sowie meiner Freundin Sabrina bedanken. Deren Unterstützung war während meines gesamten Studiums bedingungslos und nie endend wollend, weshalb ich ihnen auch diese Masterarbeit widme.

## 1 EINLEITUNG

Schon seit jeher interagieren Lawinen an der Schnittfläche zwischen natürlichem und vom Menschen beeinflusstem Lebensraum und gefährden das Leben dieser bzw. deren Hab und Gut. Während früher Lawinen als natürliche Gefahr und das Risiko eines Lawinenabganges mehr oder weniger akzeptiert wurden, hat sich bis zum heutigen Zeitpunkt durch gesteigerten Wohlstand und den technischen Fortschritt beim Bau von Schutzmaßnahmen eine immer höher werdende Risikoaversion entwickelt. Dass schadhafte Lawinenabgänge aber auch gegenwärtig nicht unmöglich sind, hat insbesondere der Lawinenwinter 1999 mit der verheerenden Katastrophe am 23. Februar in Galtür gezeigt.

Generell unterscheidet man zwischen permanentem und temporärem Lawinenschutz, wobei man die permanenten Maßnahmen wiederum in technische, forstliche und raumplanerische einteilen kann (vgl. Rainer, s.a.). Leider sind den forstlichen und raumplanerischen Mitteln zur Prävention von schadhafte Lawinenereignissen Grenzen gesetzt, wodurch in gewissen Situationen nur durch technische oder temporäre Instrumente Schutz geboten werden kann. Während man für Siedlungsräume aufgrund der großen Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und der großen monetären Werte zumeist technischen Maßnahmen den Vorzug gibt, hat sich, insbesondere in den letzten Jahren, für Infrastruktur und touristische Erschließungen eine Tendenz in Richtung temporärem Lawinenschutz entwickelt. Dies ist einerseits damit zu begründen, dass sich die Kenntnisse der Vorgänge bei der Lawinenbildung, automatischen Messungen in den Anrissgebieten, Modellierungen der kritischen Einflussgrößen, computergestützten Entscheidungshilfen sowie künstlichen Lawinenauslösungen stark verbessert haben (vgl. Gubler, 1999). Auf der anderen Seite werden Lawinenschutzmaßnahmen auch immer öfter sogenannten Kosten – Nutzen – Analysen unterzogen, bei welchen die temporären Schutzmaßnahmen bei gleichzeitig vertretbarem Restrisiko zumeist ein wesentlich besseres Ergebnis vorweisen.

Grundsätzlich beinhaltet der temporäre Lawinenschutz die Warnung, die Sperre, die Evakuierung und die künstliche Lawinenauslösung (vgl. Rainer, s.a.). Durch letztere Maßnahme wird versucht, eine etwaige Sperre oder Evakuierung zu vermeiden. Das große Problem der künstlichen Lawinenauslösung ist die Bestätigung des Sprengerfolges bei schlechter Sicht. Dies mag zwar in touristischen Erschließungen wie Schigebieten

vernachlässigbar sein, ist jedoch für die Sicherung von Verkehrswegen entscheidend. Deshalb wurden in den letzten Jahren verschiedene sichtunabhängige Systeme zur Validierung von Lawinen entwickelt, wobei sich die folgende Masterarbeit in diesem Kontext bewegen wird.

Zur Überwachung einzelner Lawinenzüge bzw. zur Auslösung entsprechender Sicherheitsprozesse gibt es schon seit längerem erprobte Systeme und Alarmanlagen (vgl. Lussi et al., 2012). In dieser Arbeit werden ausschließlich Applikationen für größere Geländeabschnitte herangezogen.

Obwohl sich zahlreiche Detektionssysteme bereits am Markt befinden und kommerziell vertrieben werden, ist deren Zuverlässigkeit bisweilen stark eingeschränkt. Eine Ausnahme stellt hier die Radartechnologie dar, wobei diese wiederum nur für einen relativ begrenzten Bereich eingesetzt werden kann. Des Weiteren wurde in bisherigen wissenschaftlichen Arbeiten (vgl. Lussi et al., 2012; etc.) lediglich die Detektion bewertet, jedoch auf die Ergebnisse dieser wenig bis keine Rücksicht genommen. Dabei wäre es für den praktischen Anwender (Lawinenkommissionen, Schigebietbetreiber, etc.) unter Umständen hilfreich, die Größe bzw. Art der Lawine quantifizieren zu können.

Die im vorherigen Absatz erwähnten Probleme sind das erste Ziel dieser Arbeit. Es soll untersucht werden, ob es für den Lawinenwinter 2012/2013 Weiterentwicklungen von Seiten der Hersteller gegeben hat. Hierzu wird der SLF – Schlussbericht (vgl. Lussi et al., 2012) des Projektes Lawinendetektion, welcher mit dem Winter 2011/2012 endet, fortgesetzt und die Ergebnisse verglichen. Des Weiteren wird auch ein neues Infrasondsystem erstmals unter die Lupe genommen. In diesem Zusammenhang werden die Detektionsergebnisse der diversen Anlagen genau analysiert und Möglichkeiten für weitere Informationen aus diesen aufgezeigt.

Eines haben jedoch all diese Systeme gemein. Sie sind in der Anschaffung relativ teuer und daher für niederrangige Straßennetze, kleine Schigebiete, etc. nicht finanzierbar. Deshalb beschäftigt sich das zweite Ziel dieser Arbeit mit der Erstellung eines kostengünstigen Funktionsschemas für ein einfaches Detektionssystem, wobei hierbei auf Technologien zurückgegriffen wurde, welche in bisherigen Anlagen keine Berücksichtigung fanden.

Generell bedienen sich die momentan am Markt bzw. in Entwicklung befindlichen Systeme entweder den physikalischen Prozessen der Akustik, der Radartechnologie oder der optischen Zeitbereichsreflektometrie. Das große wissenschaftliche Feld der Akustik umfasst die Studie der Ausbreitung mechanischer Wellen in Gasen (Ultra-, Hörbarer- und Infrasound), Flüssigkeiten (Hydroakustik) und Festkörpern (Seismische Wellen), welche mit speziellen Sensoren in einiger Distanz zur Quelle beobachtet werden können (vgl. Kogelnig, 2012c). Bei der Radartechnologie handelt es sich um eine Funkortung und gleichzeitige Abstandsmessung, wobei man zwischen Impulsradar und Dauerstrichradar unterscheidet. Einen völlig neuen Ansatz stellt die Lawinendetektion basierend auf der optischen Zeitbereichsreflektometrie dar, bei welcher seismische Vibrationen und akustische Signale mittels eines Lichtwellenleiters, welcher eine Länge von bis zu 30km vorweisen kann, aufgezeichnet werden (vgl. Prokop et al., 2013). In den herkömmlichen Anlagen, welche in dieser Arbeit behandelt werden, finden die Technologien Infrasound, Seismik und Impulsradar Berücksichtigung.

Wie bereits zuvor erwähnt, habe ich mich für die Entwicklung der alternativen Funktionsschemas in neue Technologiegefilde begeben. Dies war einerseits das wissenschaftliche Feld der elektromagnetischen Hochfrequenzstrahlung im Frequenzbereich des Mobilfunks und andererseits der hörbare Sound.

Im Folgenden möchte ich kurz auf die in dieser Arbeit behandelten Technologien, die sich am Markt oder in Entwicklung befindlichen Lawinendetektionssysteme sowie die nötigen Hintergrundinformationen zur alpinen Massenbewegung Lawine näher eingehen, um die weiteren Kapitel verständlicher zu gestalten.

## 1.1 Grundlagenwissen

### 1.1.1 Ausbreitung mechanischer Wellen in Gasen

Schallwellen sind longitudinale Wellen von welchen sich die schwingende Bewegung in die gleiche Richtung entwickelt wie die Ausbreitung. Eine Schallwelle, welche sich durch ein Gas bewegt, stört den Gleichgewichtszustand von diesem durch Komprimierung und Verdünnung. Dadurch, dass Schallwellen elastisch sind, wird durch die Deplatzierung von Partikeln des Gases eine Kraft erzeugt, welche proportional zu dessen Lageveränderung ist, um die Partikel wieder in ihre ursprüngliche Position zu bringen (vgl. Evers und Haak, 2010).

Gase ermöglichen eine große Bandbreite von Frequenzen von Deformationen (vgl. Evers und Haak, 2010). Dies sei anhand der folgenden Graphik (Abb. 1) bildlich dargestellt.

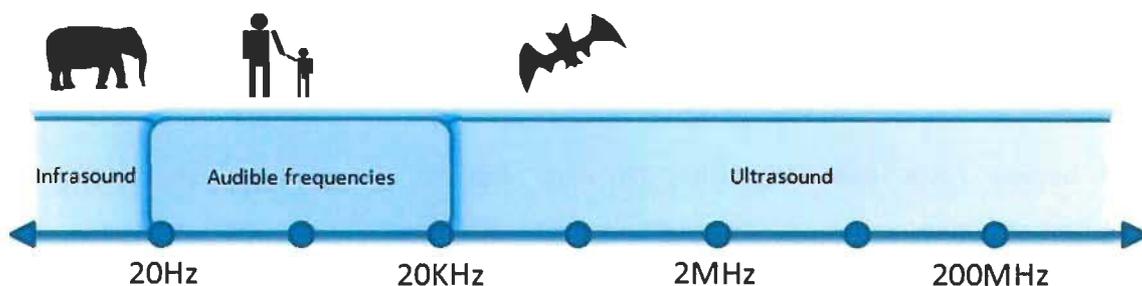


Abbildung 1: Frequenzbandbreiten für Infrasound, hörbaren Sound (audible frequencies) und Ultrasound sowie exemplarisch angeführte Säugetiere, welche die jeweiligen Soundarten wahrnehmen können. (Igel, 2012)

Schall bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 343m/s bei 20° durch die Atmosphäre. Diese Geschwindigkeit steigt mit zunehmender Temperatur sowie Fallwinden durch Advektion und ist außerdem von den Eigenschaften des Gases abhängig (vgl. Evers und Haak, 2010).

Die durch Schall erzeugten Druckunterschiede sind generell äußerst gering im Vergleich zum Umgebungsdruck. Als Beispiel sei hier angeführt, dass sich die Amplituden typischer Infrasoundsignale im Bereich von Hundertstel bis Tausendstel von Pascal abspielen, während der Standardatmosphärendruck 1.013 hPa entspricht (vgl. Evers und Haak, 2010).

Die Absorption von Schall in der Atmosphäre ist eine Funktion der Frequenz und steigt mit dieser (vgl. Evers und Haak, 2010). Dadurch wird hochfrequenter Sound (Hörbarer Sound

und Ultrasound) weit mehr abgeschwächt als niederfrequente Schallwellen (Infrasound) (vgl. Pilger und Bittner, 2009).

Des Weiteren wird die Wellenausbreitung von verschiedenen Mechanismen beeinflusst, welche sowohl die Frequenzen als auch die Amplituden der Wellen beeinflussen (Ausbreitungsverluste und Absorptionsverluste in der Atmosphäre). Da diese Mechanismen aber bei der herkömmlichen Lawinendetektion, bei welcher die Infrasoundwellen üblicherweise in einer Distanz bis maximal fünf Kilometer aufgezeichnet werden, nur eine untergeordnete Rolle spielen, sei hier bei Interesse auf die Dissertation von Arnold Kogelnig sowie die darin erwähnte weiterführende Literatur verwiesen (vgl. Kogelnig, 2012c).

### **1.1.1.1 Infrasound**

Bei Infrasound handelt es sich um nicht hörbaren Schall, welcher sich in der Atmosphäre über tausende von Kilometern ausbreiten kann, ohne nennenswert an Energie zu verlieren (vgl. Le Pichon et al., 2010). Die Ausbreitung von Infrasoundwellen ist in erster Linie vom Aufbau, Wind und der Temperaturstruktur in der Atmosphäre abhängig (vgl. Evers und Haak, 2010). Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Geschwindigkeit der Ausbreitung von Infrasound von den Eigenschaften der Luft und nicht von den Frequenzen oder Amplituden der Wellen bestimmt wird (vgl. Kogelnig, 2012c). Schall im Bereich dieser Frequenzen (kleiner 20Hz) ist eigentlich allgegenwärtig vorhanden und wird seit den frühen 90ern an verschiedenen, über den Globus verteilten Orten untersucht. (vgl. Le Pichon et al., 2010)

Um jedoch überhaupt Lawinen detektieren zu können, müssen diese einen gut entwickelten, turbulenten Fließanteil aufweisen, da sie ansonsten keinen Infrasound erzeugen. Deshalb ist es zu erwarten, dass trockene oder gemischte Lawinen mit einem vollentwickelten turbulenten Staubanteil größere Infrasoundemissionen erzeugen als dichte Nassschneelawinen (vgl. Kogelnig, 2012c).

Infrasound wird jedoch nicht nur von Lawinen und Wind erzeugt, sondern auch von zahlreichen sonstigen anthropogenen (z.B. Schilifte, Helikopter) und natürlichen (z.B. Erdbeben) Störquellen. Im Prinzip lassen sich diese negativen Einflüsse aufgrund ihrer typischen Infrashallcharakteristik einfach ausscheiden, sofern man darüber Bescheid weiß. Für nähere Informationen sei hier auf die Dissertation von Arnold Kogelnig (Kogelnig, 2012c) verwiesen, in welcher diese Phänomene ausführlich erklärt und beschrieben werden.

### 1.1.1.2 Absorptionsverluste bei hörbarem Schall

Da sich eines der beiden Funktionsschemas, welches ich in Kapitel 2.2 aufzeigen werde, im Frequenzbereich von hörbarem Schall bewegt und in diesem Spektrum Absorptionsverluste durchaus einen entscheidenden Einfluss ausüben, möchte ich zum besseren Verständnis dieses Phänomen hier näher beschreiben.

Absorption von Schall erfolgt durch den Untergrund, die Bodenvegetation und insbesondere durch die Schneebedeckung (vgl. Kogelnig, 2012c). Viele Menschen verbinden mit einer schneebedeckten Umwelt Stille bzw. einen geringen Geräuschpegel, welches ein Indiz für den schalldämmenden Effekt einer stark absorbierenden Schneeschicht ist (vgl. Albert und Orcutt, 1990; vgl. Albert et al., 2008)

Generell ist es leicht verständlich, dass zum Beispiel scharfe und poröse Oberflächen (zum Beispiel dichtes Gras) mehr Absorption erzeugen als ebene harte Oberflächen (zum Beispiel Asphalt) (vgl. Albert und Orcutt, 1990). Der Haupteffekt der Interaktion zwischen einer Welle und dem Untergrund ist Energieumwandlung (Kogelnig, 2012c).

Schnee stellt dabei einen extremen Fall dar, denn er ist bei weitem die am meisten absorbierende, natürlich auftretende Bodenbedeckung (vgl. Albert et al., 2008). Dies sei anhand der beiden folgenden Graphiken (Abbildung 2 und Abbildung 3) illustriert.

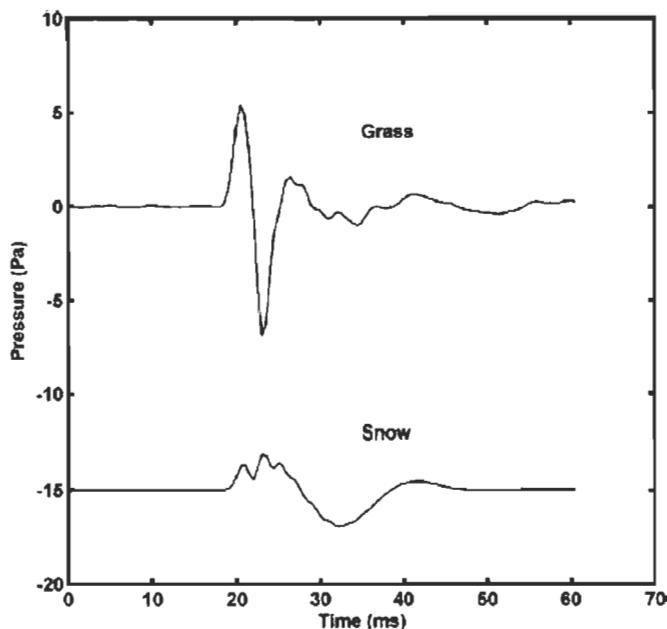


Abbildung 2: Die Wellenform leerer Pistolenschüsse mit und ohne Schneebedeckung (aus Albert et al., 2008)

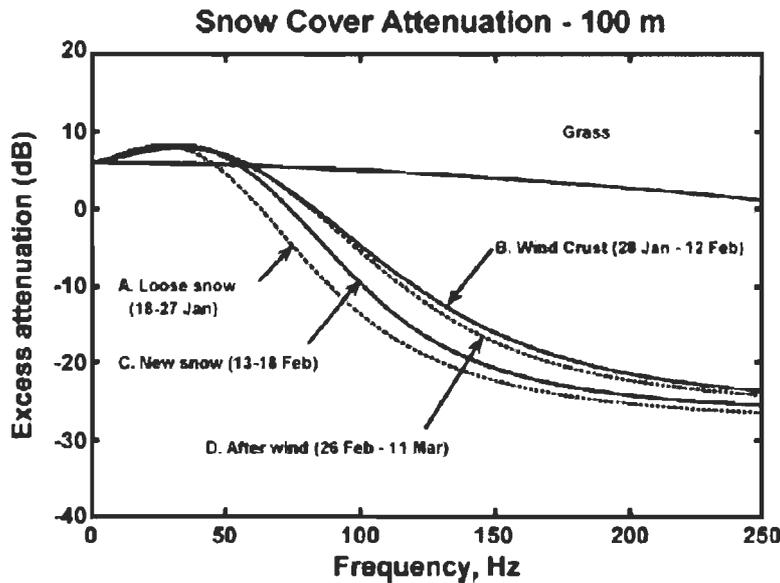


Abbildung 3: Die Abschwächung des Schalls durch die Schneebedeckung für eine Ausbreitungsdistanz von 100m. Die verschiedenen Graphen A-D stellen die Abschwächung in Abhängigkeit der vorliegenden Schneedeckeneigenschaften dar. (aus Albert et al., 2008)

Anhand der Abbildung 2 ist eindeutig ersichtlich, dass die Schneebedeckung den maximalen Spitzendruck der Amplitude reduziert sowie die gemessene Wellenform im Vergleich zu jener bei Gras deformiert hat. Das Mikrofon war dabei auf der Schneeoberfläche positioniert. Die verschiedenen Wellenformen waren dabei auch für das menschliche Gehör klar wahrnehmbar. Während das Geräusch in der schneelosen Zeit scharf und laut, gleich einem Handschlag oder einem normalen Pistolenschuss klang, war es in der schneebedeckten Zeit deutlich gedämpft und mehr als ein „WUUUMP“ als ein Schuss wahrnehmbar. (vgl. Albert et al., 2008)

In der Abbildung 3 kann beobachtet werden, dass Frequenzen größer 100Hz sehr stark abgeschwächt werden und dass diese Abschwächung bis zu 30dB betragen kann. Interessant ist auch der Umstand, dass niedrige Frequenzen sogar noch verstärkt werden können. Dies lässt sich durch eine akustische Oberflächenwelle, welche ausschließlich auf kurzen Distanzen für die Ausbreitung über Schneebedeckungen existiert, begründen. Wichtig ist auch noch zu erwähnen, dass die Abschwächung des Schalls durch den Schnee von Änderungen in den Schneedeckeneigenschaften, gesteuert durch meteorologische Effekte inklusive Stürme, Schmelzperioden und Schneemetamorphismus abhängig ist. (vgl. Albert, 2003; vgl. Albert et al., 2008)

Es gilt zu beachten, dass die oben erwähnte Studie von Albert et al. (2008) maximale Schneehöhen von circa 30 Zentimeter vorzuweisen hatte.

Derartige Absorptionsverluste gibt es für Infrasound auch bei größeren Schneehöhen nicht. Bei einem in Lech am Arlberg positionierten Infrasoundsensor konnte auch bei Erreichen von 1,5 Meter Schneeüberdeckung keine signifikante Änderung in der aufgezeichneten Amplitude festgestellt werden (vgl. Kogelnig, 2012c). In diesem Kontext sei auch nochmals darauf hingewiesen, dass sich die Mikrophone in der Studie von Albert et al. (2008) an der Schneeoberfläche befunden haben. Bis dato konnte keine Studie ausfindig gemacht werden, welche mit im Schnee vergrabenen Mikrofonen operiert, jedoch wird dies Bestandteil dieser Arbeit sein.

### **1.1.1.3 Infrasound – Sensorik**

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Infrasoundsensoren: Absolutdrucksensoren („Barometer“) und Differentialdrucksensoren („Mikrofone“) (vgl. Kogelnig, 2012c).

Während Absolutdrucksensoren den atmosphärischen Druck mit einem bekannten Referenzdruck (zumeist Vakuum) in einem abgeschlossenen, dichten Raum vergleichen, ziehen Differentialdrucksensoren den Unterschied zwischen atmosphärischem Druck und einem durchschnittlichen Wert des Atmosphärendruckes heran. Differentialdrucksensoren nutzen dabei das gleiche Prinzip wie Mikrofone, indem sie den Druckunterschied zwischen der Innen- und Außenseite eines Raumes, verbunden durch eine kleine Leckage, messen und werden daher auch manchmal Infrasoundmikrofone genannt. Der große Vorteil von Differentialdrucksensoren liegt im großen Signal zu Geräusch – Verhältnis und der große Nachteil in der Sensibilität gegenüber der Umwelt sowie am Mangel geeigneter Kalibrationstechnologien (vgl. Kogelnig, 2012c; vgl. Ponceau und Bosca, 2010).

### 1.1.2 Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern

Generell kann festgestellt werden, dass die Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern um einiges komplizierter ist als in Flüssigkeiten oder Gasen, auch wenn die Prinzipien der Wellenausbreitung grundsätzlich ähnlich sind.

Bei seismischen Wellen handelt es sich wiederum um elastische Wellen, welche durch natürliche oder vom Menschen verursachte Deformationsenergie elastische Störungen hervorrufen. Diese elastischen Störungen breiten sich kugelförmig von der Quelle weg als Resultat von vorübergehenden Druckunterschieden aus, welche das Gleichgewicht im Untergrund stören (vgl. Thorne und Wallace, 1995).

Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen der Ausbreitung mechanischer Wellen in Gasen und Festkörpern ist die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit vom zu durchquerenden Medium (vgl. Thorne und Wallace, 1995). Erwähnenswert ist hierbei, dass unmittelbar unter einer Quelle in den Untergrund induzierte Druckwellen (seismische Wellen) eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit vorweisen als elastische Wellen in Gasen. Dies lässt sich mit der höheren seismischen Wellengeschwindigkeit im Untergrund begründen. Auch wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Wellen in Festkörpern eine Größenordnung höher als in Gasen ist, muss gleichzeitig beachtet werden, dass die Amplituden eine bis zwei Größenordnungen niedriger sind (vgl. Albert und Orcutt, 1989; vgl. Kogelnig, 2012c)

Grundsätzlich unterscheidet man 4 Arten von mechanischen Wellen in Festkörpern, wobei diese wiederum in 2 Untergruppen eingeteilt werden können. Dies sei anhand der folgenden Graphiken (Abbildung 4 bis 7) illustriert und erklärt:

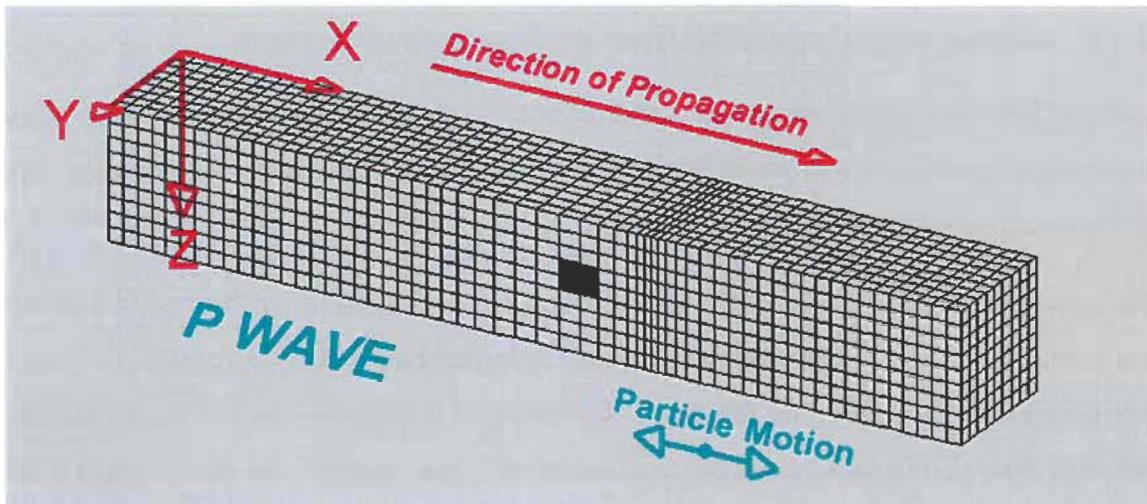


Abbildung 4: Die Kompressionswelle bzw. Primärwelle (Braile, 2010)

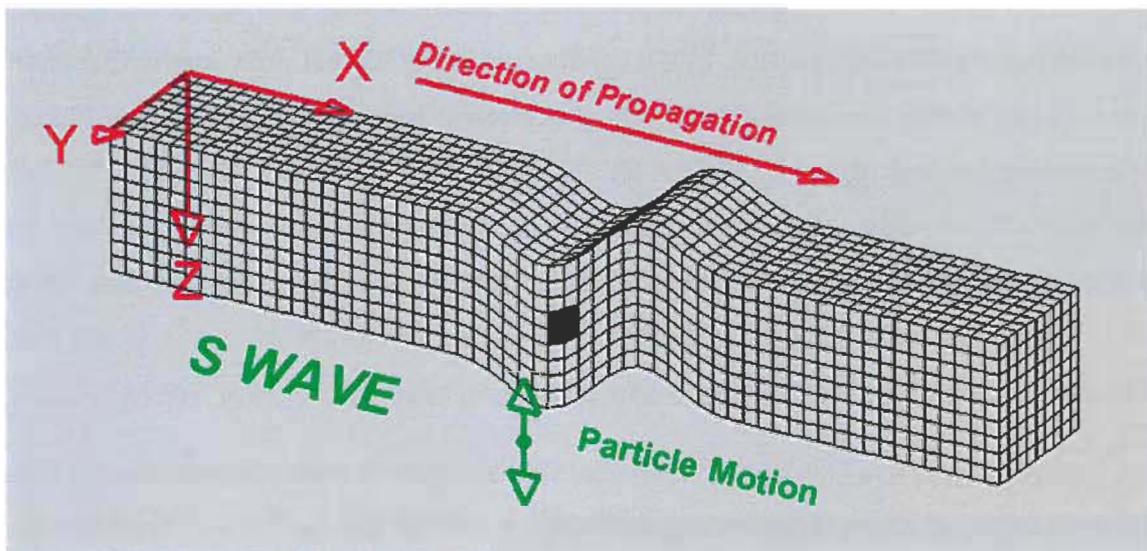


Abbildung 5: Die Scherwelle bzw. Sekundärwelle (Braile, 2010)

Sowohl bei der Primärwelle (P-Welle) als auch bei der Sekundärwelle (S-Welle) handelt es sich um Raumwellen.

Die Primärwelle (auch Kompressionswelle) verursacht alternierende Stauchungen und Dehnungen, welche gleich der Wellenausbreitung gerichtet sind. Dadurch, dass ihre Partikelbewegung parallel zur Richtung der Welle ist, werden sie auch Longitudinalwellen genannt. Kompressionswellen durchschreiten das zu querende Medium am Schnellsten, wobei sie zumeist kleiner in ihrer Amplitude sind und höhere Frequenzen vorweisen als

Sekundärwellen. Bei Primärwellen in Flüssigkeiten oder Gasen handelt es sich um Druckwellen, inklusive Schallwellen (vgl. Braile, 2010).

Die Sekundärwelle verursacht alternierende Bewegungen transversal zur Richtung der Wellenausbreitung und wird deshalb auch Transversalwelle genannt. Generell kann dabei die Partikelbewegung in jede Richtung rechtwinkelig zur Wellenausbreitung erfolgen, wobei die Schichtung des Untergrundes der Erde zumeist horizontale und vertikale Scherbewegungen begünstigt. Es gilt zu beachten, dass in Abbildung 5 lediglich die vertikale Bewegung illustriert ist. Sekundärwellen können sich weder in Gasen noch Flüssigkeiten ausbreiten und existieren daher außerhalb des Erdmantels nicht. Wie bereits zuvor erwähnt, bewegen sich Sekundärwellen langsamer als Primärwellen (vgl. Braile, 2010).

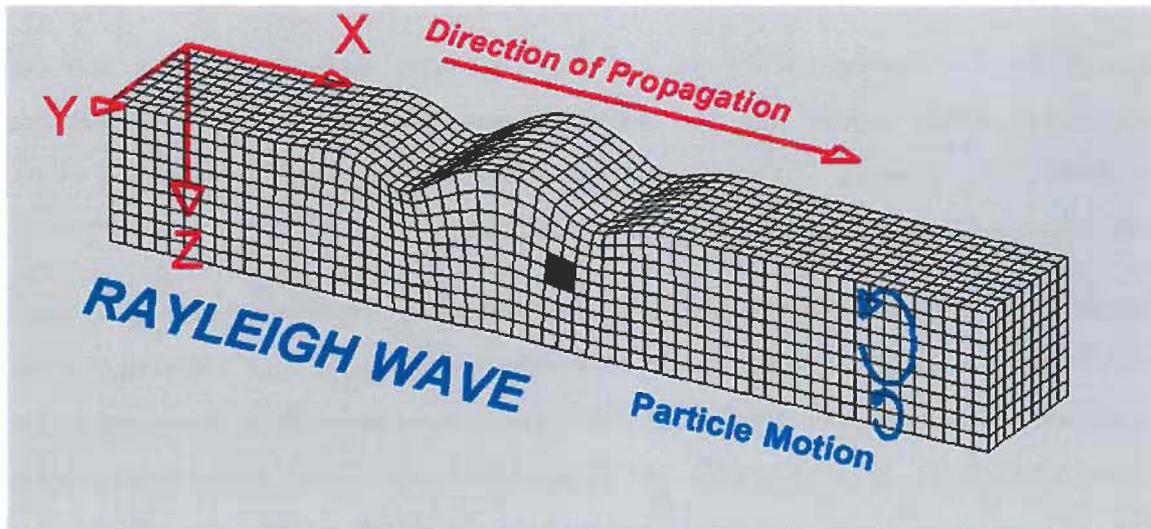


Abbildung 6: Rayleigh Welle (Braile, 2010)

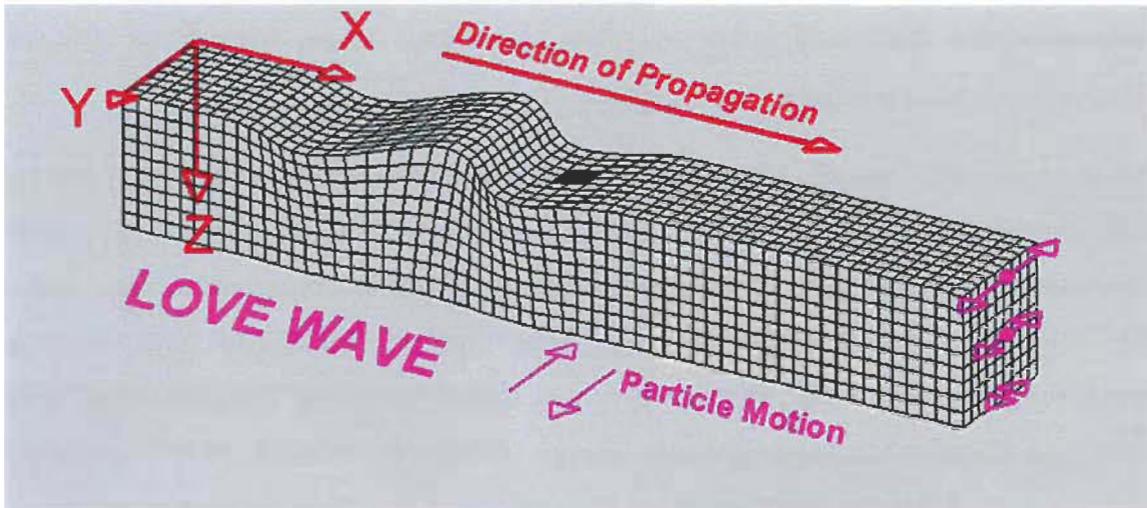


Abbildung 7: Love Welle (Braile, 2010)

Sowohl bei der Rayleigh Welle als auch bei der Love Welle handelt es sich um Oberflächenwellen, welche aus der Interaktion von Raumwellen mit der Oberfläche resultieren (vgl. Kogelnig, 2012c). Ein markantes Merkmal von Oberflächenwellen ist die abnehmende Amplitude mit der Tiefe (vgl. Braile, 2010).

Die Rayleigh Welle bewegt sich sowohl in die Richtung der Wellenausbreitung als auch rechtwinkelig zu dieser. Dadurch besteht die Partikelbewegung aus einer elliptischen in der vertikalen Ebene und einer parallel zur Wellenausbreitung gerichteten Bewegung in der horizontalen Ebene. Rayleigh Wellen sind Wasserwellen sehr ähnlich und erreichen umso höhere Geschwindigkeiten und größere Tiefen, je tiefer ihre Frequenz ist (vgl. Braile, 2010).

Die Love Welle besteht aus einer alternierenden transversalen horizontalen Bewegung, rechtwinkelig zur Richtung der Wellenausbreitung und im Generellen parallel zur Oberfläche der Erde. Love Wellen erreichen wiederum umso höhere Geschwindigkeiten und größere Tiefen, je tiefer ihre Frequenz ist (vgl. Braile, 2010).

Zu erwähnen ist außerdem noch, dass zwar Primär- und Sekundärwellen die größten Geschwindigkeiten erreichen, jedoch die Partikelbewegungen bei den Oberflächenwellen am Größten sind (vgl. Kogelnig, 2012c).

Es ist allgemein bekannt, dass seismische Wellen bei ihrer Bewegung durch den Untergrund umso mehr abgeschwächt werden, je weiter sie sich von ihrer Quelle entfernen. Generell

können die Wellen bei ihrer Ausbreitung gebrochen, gebeugt, gestreut, absorbiert und umgewandelt werden. Die Hauptgründe für die Energiedissipation sind jedoch geometrische Streuung und unelastische Dämpfung (vgl. Lussi et al., 2012; vgl. Surinach et al., 2011).

Durch die Ausbreitung der Welle entsteht eine immer größer werdende Wellenfront und die Energie wird über ein immer größer und größer werdendes Gebiet verteilt. Da die Energie der Welle aber konstant bleibt, sinkt dadurch die Energie pro Einheit. Dieses Phänomen wird geometrische Streuung genannt und ist frequenzunabhängig (vgl. Evans et al., 1972; vgl. Kogelnig, 2012c).

Bei der unelastischen Dämpfung unterscheidet man zwischen Streu- und intrinsischer Dämpfung (vgl. Igel, 2012).

In der Wellenausbreitung ist ein permanenter Wechsel zwischen potentieller (Verschiebung) und kinetischer (Geschwindigkeit) Energie allgegenwärtig. Dieser Prozess ist jedoch nicht komplett reversibel, weshalb es zu Energieverlust durch Wärmeentwicklung an den Korngrenzen, Mineralübergängen, etc. kommt. In diesem Zusammenhang spricht man von intrinsischer Dämpfung (vgl. Igel, 2012).

Die Energie eines Wellenfeldes wird beim Durchlaufen von Materialänderungen in verschiedene Phasen gestreut. In Abhängigkeit der Materialeigenschaften führt dies zu einem Amplitudenabfall und Dispersionseffekten. Deshalb spricht man in diesem Kontext von Streudämpfung (vgl. Igel, 2012).

Des Weiteren sei auch auf Kapitel 1.1.1.2 (Absorptionsverluste bei hörbarem Schall) verwiesen, in welchem für diese Arbeit relevante Teile der Absorption/Dämpfung näher erklärt werden.

Die Hauptquelle seismischer Wellen bei Lawinen ist die basale Reibung zwischen dem dichten Fließkörper und dem Untergrund bzw. der Schneebedeckung und die Änderungen in der Neigung der Lawinenbahn (vgl. Surinach et al., 2000; vgl. Biescas et al., 2003; vgl. Vilajosana et al., 2007 in Kogelnig, 2012c). Daraus lässt sich erahnen, dass Nassschneelawinen aufgrund ihrer hohen Dichte und langsamen Geschwindigkeit lange und große Signale generieren während bei Staubschneelawinen das Gegenteil der Fall ist (vgl. Biescas et al., 2003).

Generell werden bei der seismischen Detektion von Lawinen weder Primär- noch Sekundärwellen, sondern überwiegend oberflächliche Wellen aufgezeichnet. Wie bereits in den vorherigen Absätzen erwähnt, spielt in der Seismik das für die Schallwelle zu durchquerende Medium eine große Rolle, wobei insbesondere die relative Distanz zwischen dem Sensor und der Lawine sowie die Charakteristik des Untergrundes das seismische Signal beeinflussen (vgl. Vilajosana et al., 2007; vgl. Kogelnig, 2012c).

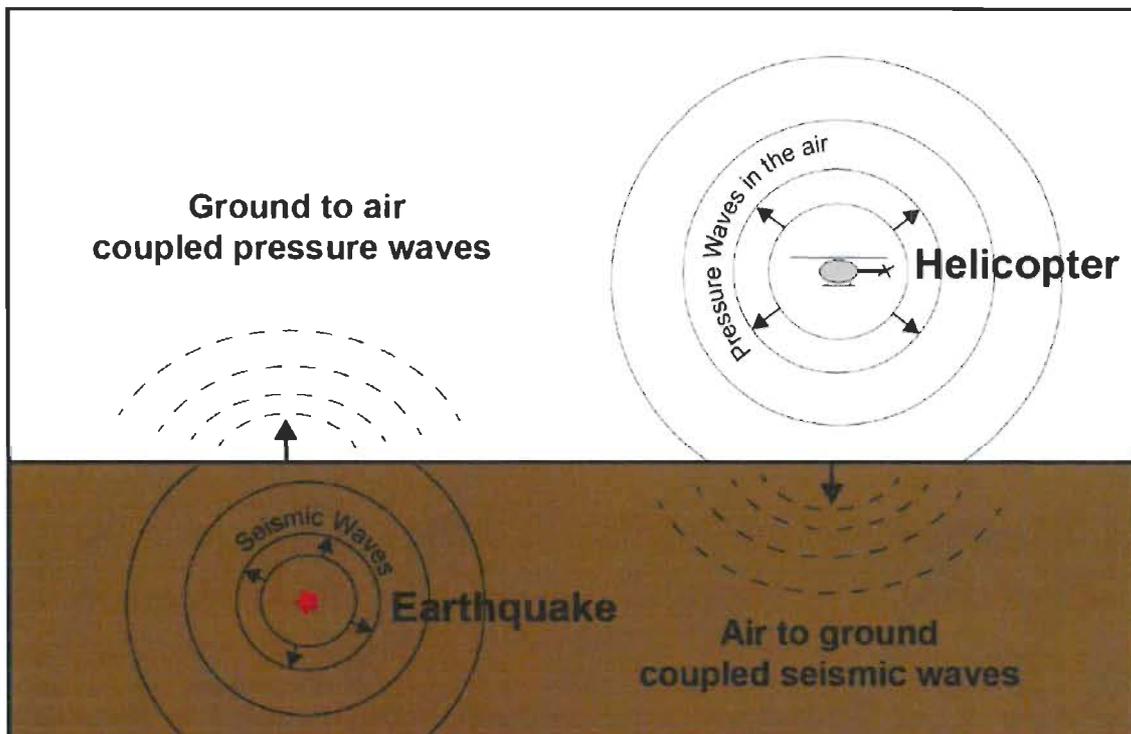
### ***1.1.2.1 Seismische Sensorik***

Bei den seismischen Sensoren unterscheidet man zwischen eindimensionalen Geophonen und dreidimensionalen Seismometern. Werden zur Detektion nun Geophone eingesetzt, so gehen Informationen verloren, da nur die vertikale Bewegung erfasst werden kann. Wie in diesem Kapitel aber bereits beschrieben, ist das seismische Wellenfeld, welches Lawinen erzeugen, dreidimensional und somit nur mit einem Seismometer vollständig erfassbar. Des Weiteren weisen Seismometer in der Regel eine höhere Sensitivität auf als Geophone (vgl. Kogelnig, 2012c).

### 1.1.3 Kopplungseffekte (hörbarer Schall, Infrasound & Seismik)

Das folgende Kapitel sei nur der Vollständigkeit halber erwähnt, da dieses Phänomen im Kontext dieser Arbeit keine entscheidende Rolle einnimmt.

Grundsätzlich gibt es Kopplungseffekte vom Untergrund zur umgebenden Luft und umgekehrt (Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Schema der zwei möglichen Kopplungseffekte (aus Kogelnig, 2012c). Links: Kopplungseffekt vom Untergrund zur umgebenden Luft. Rechts: Kopplungseffekt von der umgebenden Luft zum Untergrund.

Unter Kopplungseffekten vom Untergrund zur umgebenden Luft sind die von der Bewegung des Untergrundes hervorgerufenen atmosphärischen Störungen (Druckunterschiede in der Luft) zu verstehen. Diese stehen im Gegensatz zu den Kopplungseffekten der umgebenden Luft zum Untergrund, bei welchen Druckunterschiede in der Luft die Entstehung seismischer Wellen bewirken. Das Interessante an diesen Kopplungseffekten ist, dass bei Vorhandensein akustischer und seismischer Sensoren in unmittelbarer Nähe zueinander ähnliche seismische und akustische Signale detektiert werden können. (vgl. Arrowsmith et al., 2010; vgl. Kogelnig, 2012c)

Kogelnig (vgl. Kogelnig, 2012c) konnte im Zuge der Feldversuche im Valle de la Sionne für seine Dissertation eindeutig von Lawinen verursachte Kopplungseffekte von der umgebenden Luft zum Untergrund feststellen, indem er die von den Infrasoundmikrofonen detektierte Wellenform in den seismischen Aufzeichnungen wiederfand. Er schloss daraus, dass die sich ausbreitenden Infrasschallwellen lokale Vibrationen in den Untergrund induziert haben, welche groß genug waren, um von den Seismometern detektiert werden zu können.

Da keines der in dieser Arbeit inkludierten Lawinendetektionssysteme auf eine kombinierte Detektion mittels Geophonen und Mikrofonen zurückgreift und daher Kopplungseffekte vernachlässigbar sind, wurde dieses Thema nur sehr grob behandelt. Hier sei auf die Dissertation von Kogelnig (Kogelnig, 2012c) bzw. die darin erwähnte weiterführende Literatur verwiesen, sollte näheres Interesse bestehen.

### 1.1.4 Radartechnologie

Der Begriff Radar stammt aus dem Englischen und setzt sich aus den Begriffen „Radar Detecting and Ranging“ zusammen (vgl. Weihard, 2010). Übersetzt bedeutet dies Funkortung und Abstandsmessung.

Generell beruht die Radartechnologie auf drei physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Dies sind die Reflexion elektromagnetischer Wellen, die konstante Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen und die geradlinige Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen (vgl. Wolff, 2012).

Elektromagnetische Wellen breiten sich im Frequenzbereich der Radargeräte geradlinig und mit annähernder Lichtgeschwindigkeit (299.792.458 m/s) aus. Sobald diese Wellen auf elektrisch leitende Körper treffen, werden sie reflektiert. Kann die reflektierte Welle am Entstehungsort wieder erfasst werden, so ist dies ein Indiz für ein Hindernis in Ausbreitungsrichtung (Abbildung 9) (vgl. Wolff, 2012).

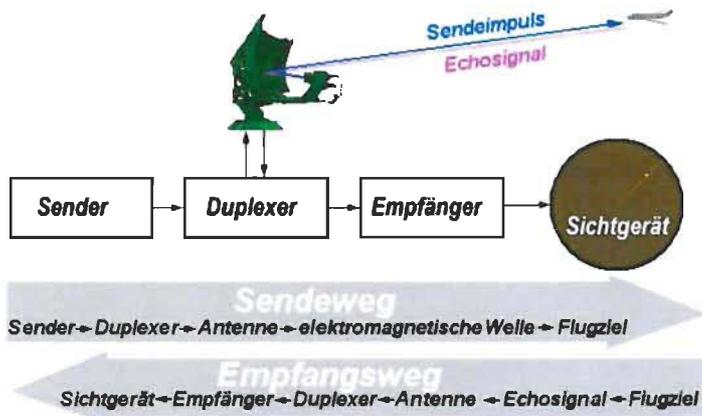


Abbildung 9: Das Grundprinzip eines Radars (aus Wolff, 2012)

Bei dem in der Abbildung 9 ersichtlichen „Duplexer“ handelt es sich um eine Sende- bzw. Empfangsweiche. Diese ermöglicht es, mit einer einzelnen Antenne sowohl die Sende- als auch Empfangsfunktion eines Radars zu bewerkstelligen, indem diese beiden Funktionen zeitlich getrennt werden. Dies ist deshalb möglich, da sowohl Sende- als auch Empfangssignal die gleiche Frequenz besitzen (vgl. Wolff, 2012).

Das vom Radar ausgesandte Signal unterliegt diversen Verlusten, welche in drei Kategorien eingeteilt werden können. Dies sind geräteinterne Dämpfungsverluste, Fluktuationsverluste bei der Reflexion am Zielobjekt und atmosphärische Dämpfungsverluste, welche am Weg zwischen Sender/Empfänger und Ziel entstehen. (vgl. Wolff, 2012)

Die atmosphärischen Dämpfungsverluste bestehen aus einer atmosphärischen Grunddämpfung sowie einer stark wetterabhängigen Zusatzdämpfung durch Regen, Nebel oder Schnee (Abbildung 10). Des Weiteren ist die Absorption von der Frequenz bzw. der zurückgelegten Distanz der Welle abhängig. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass diese Dämpfungsverluste permanent irgendwelchen Änderungen unterworfen und daher nur sehr schwer quantifizierbar sind. (vgl. Wolff, s.a.d)

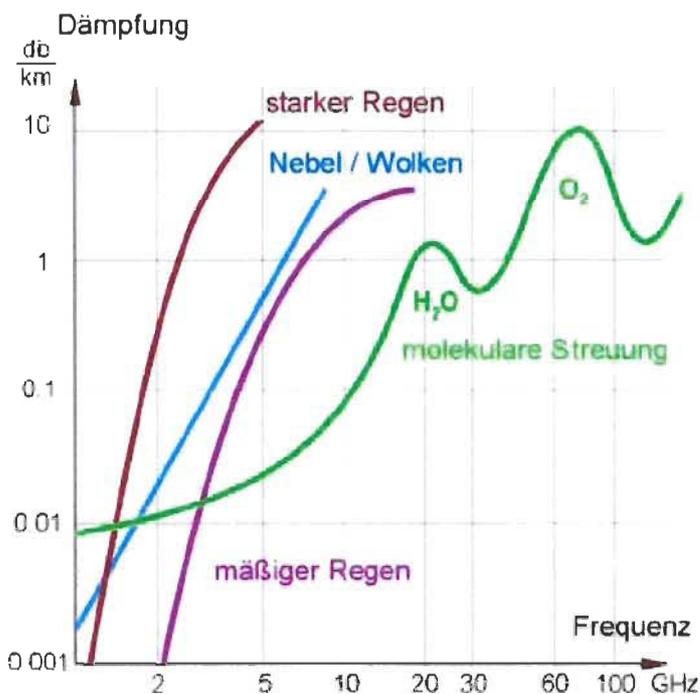


Abbildung 10: Atmosphärische Dämpfungsverluste (aus Wolff, s.a.d)

Generell unterscheidet man zwischen Pulsradar und Dauerstrichradar wobei sich diese beiden Radararten wiederum in Unterkategorien einteilen lassen (Abbildung 11).

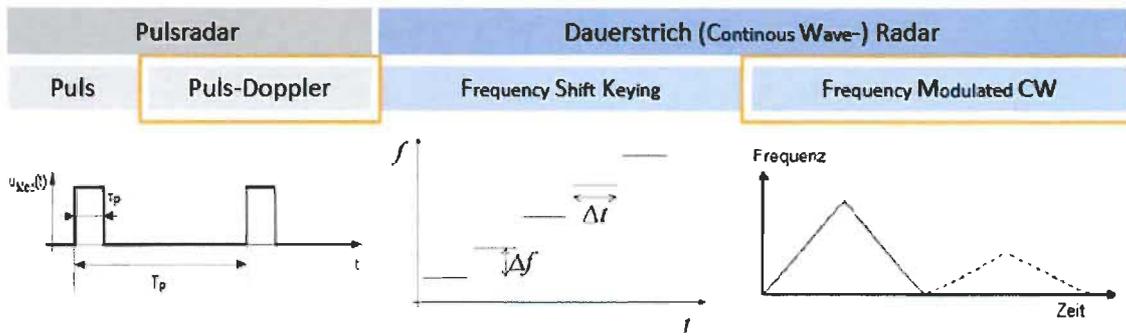


Abbildung 11: Die verschiedenen Radarverfahren (aus Weihard, 2010)

Da es sich beim Radar, welches zur Lawinendetektion eingesetzt wird, um ein Puls-Doppler Radar mit Pulskompression handelt, wird im weiteren Verlauf ausschließlich auf diesen Radartyp eingegangen.

Bei einem Pulsradar handelt es sich stets um ein Primärradar. Dies bedeutet, dass sowohl die Sendung als auch der Empfang des Signals über die gleiche Antenne erfolgt. Im Zuge des Betriebs eines Pulsradars wird zuerst ein impulsförmiges, hochfrequentes Signal hoher Leistung ausgesendet. Danach herrscht eine längere Pause, in welcher die Echos des Signals empfangen werden bevor erneut ein Signal ausgesendet wird. Im Folgenden kann nun aus der Antennenstellung und Laufzeit des Signals die Richtung, Entfernung und gegebenenfalls die Höhe des gewünschten Objektes bestimmt werden. Die Funktion des Pulsradars ist auch in der Abbildung 11, im linken der drei Diagramme graphisch dargestellt. (vgl. Wolff, s.a.b)

Sendet ein Radar elektromagnetische Wellen auf ein bewegtes Ziel, so kommt es zu einer Frequenzverschiebung zwischen gesendetem und empfangenem Signal. Diese Frequenzverschiebung, welche nach Ihrem Erfinder Doppler – Frequenz genannt wird, ist umso größer, je höher die Geschwindigkeit des bewegten Zieles ist. Am Einfachsten kann der Dopplereffekt anhand eines vorbeifahrenden Autos erklärt werden. Bewegt sich ein Auto auf jemanden zu, so nimmt der unbeteiligte Beobachter einen höheren Ton wahr, als die Schallquelle (das Auto) tatsächlich abgibt. Im umgekehrten Falle nimmt der unbeteiligte Beobachter einen tieferen Ton wahr. Der Effekt ist umso ausgeprägter, je schneller sich das Auto bewegt. Dabei findet in beiden Fällen eine Frequenzverschiebung statt. Mit Hilfe des Doppler Effektes können bewegte von stehenden Zielen unterschieden bzw. die Geschwindigkeiten (Radialgeschwindigkeiten) von bewegten Zielen bestimmt werden. (vgl. Wolff s.a.a)

Der positive Effekt der Pulscompression liegt in der Kombination der energetischen Vorteile sehr langer Impulse mit den Vorteilen sehr kurzer Impulse. Dabei erfolgt eine Modulation des Sendeimpulses, um die Entfernungsauflösung des Radars trotz großer Sendeimpulsdauer zu verbessern. Durch diese Modulation ist es möglich, im empfangenen Echo eine Lokalisation innerhalb des Impulses durchzuführen. (vgl. Wolf, s.a.c)

Generell unterscheidet man zwischen der Pulscompression mit linearer Frequenzmodulation, mit nicht – linearer Frequenzmodulation, mit zeitabhängig codierter Frequenzmodulation und mit zeitabhängig codierter Puls – Phasenmodulation. Da das in dieser Arbeit behandelte Lawinendetektionsradar mit der zuletzt angeführten Pulscompression arbeitet, wird im weiteren Verlauf wiederum ausschließlich auf diese Technologie Rücksicht genommen. (vgl. Wolff, s.a.c)

Bei der phasencodierten Impulsform wird der lange Sendeimpuls in zahlreiche kleine Sub – Impulse mit gleicher Frequenz unterteilt. Die Größe eines Sub – Impulses entspricht einer sogenannten „range – cell“ ,welche wiederum die kleinste auflösbare Entfernung darstellt. Sub – Impulse haben alle die gleiche Länge, wobei innerhalb deren Impulsdauer die Phase konstant ist. Es besteht die Möglichkeit, zwischen diesen Sub – Impulsen einen Phasensprung zu programmieren (Abbildung 12), welcher mit einem binären Code verknüpft werden kann. (vgl. Wolff, s.a.c)

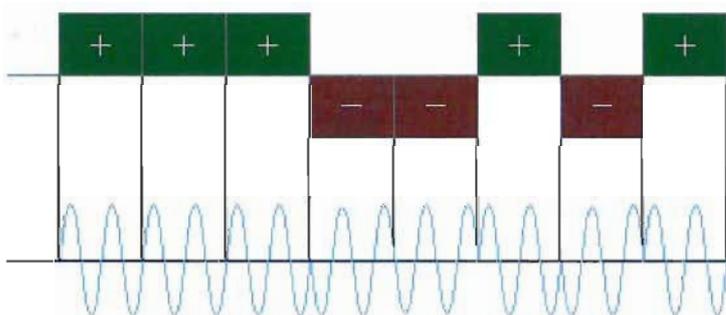


Abbildung 12: Diagramm eines phasencodierten Sendeimpulses (Wolff, s.a.c)

### 1.1.5 Elektromagnetische Hochfrequenzstrahlung im Frequenzbereich des Mobilfunkes

Das Frequenzspektrum hochfrequenter elektromagnetischer Wellen reicht von 30 KHz (Kilohertz) bis 300 GHz (Gigahertz). Der Mobilfunk bewegt sich dabei in einem Bereich zwischen 890 und 2170 Megahertz. Man spricht in diesem Spektrum auch von Mikrowellen. (vgl. Lindenmann et al., s.a.; vgl. Stankowski s.a.)

Wenn sich elektrische und magnetische Felder gemeinsam in Raum und Zeit ausbreiten, dann verschmelzen sie und eine elektromagnetische Welle entsteht. Dabei sind diese beiden Elemente bei hochfrequenten elektromagnetischen Wellen sehr eng miteinander verkoppelt, weshalb die Wirkung dieser Wellen auf keine der beiden Komponenten einzeln zurückgeführt werden kann. (vgl. Lindenmann et al., s.a.)

Die Charakteristik einer elektromagnetischen Welle lässt sich über ihre Frequenz und Länge bestimmen. Desto kleiner die Wellenlänge, desto höher ist die Frequenz und umgekehrt. Da sich elektromagnetische Wellen in der Atmosphäre mit annähernder Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, lässt sich dieses Phänomen mit einem einfachen Formelzusammenhang beschreiben:  $\text{Frequenz} \times \text{Wellenlänge} = \text{Lichtgeschwindigkeit}$ . Des Weiteren weist die Welle eine umso höhere Energieladung auf, je höher die Frequenz ist. (vgl. Lindenmann et al., s.a.; vgl. Stankowski s.a.)

Die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen erfolgt über Reflexion, Beugung und Streuung. Des Weiteren gibt es den Begriff der Abschirmung oder Abschattung. Dies lässt sich am Einfachsten mit dem schlechten Mobilfunkempfang im Inneren von Gebäuden erklären. Um die vier Begriffe verständlicher zu gestalten, werden diese Phänomene in der selbsterklärenden Abbildung 13 dargestellt. (vgl. Lindenmann et al., s.a.; vgl. Virnich, 2004)

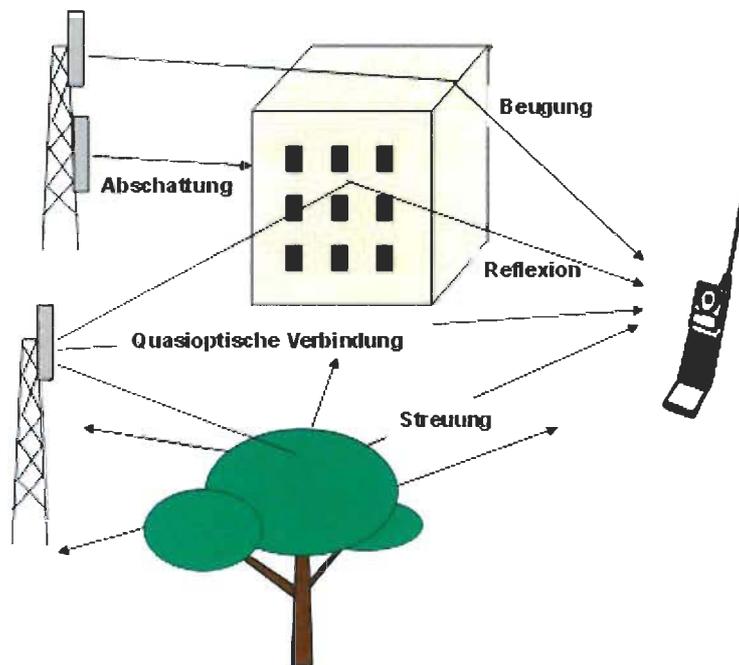


Abbildung 13: Erklärung der Begriffe Abschattung, Beugung, Reflexion und Streuung (aus Virnich, 2004)

Bezüglich der Dämpfungsverluste hochfrequenter elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre sei auf das Kapitel 1.1.4 (Radartechnologie) verwiesen, in welchem dieses Phänomen ausführlich beschrieben wurde.

### 1.1.6 Optische Zeitbereichsreflektometrie (OTDR)

Da das Lawinendetektionssystem, welches die in diesem Kapitel behandelte Technik verwendet, sich erst in Entwicklung befindet, nicht näherer Bestandteil dieser Arbeit ist und nur der Vollständigkeit halber Erwähnung finden soll, wird auf die optische Zeitbereichsreflektometrie nur sehr grob eingegangen.

Bei der optischen Zeitbereichsreflektometrie, kurz OTDR für **O**ptical **T**ime **D**omain **R**eflectometry, wird ein Lichtimpuls in eine Glasfaser eingespeist. Dieser Lichtimpuls gelangt nun durch Reflexion an Kabelbrüchen, starken Biegungen, Druck, Spannungen, etc. zurück zum Sender/Empfänger, wo durch die Laufzeit des reflektierten Impulses auf den Ort mit verändertem Reflexionsverhalten rückgeschlossen werden kann. Zu erwähnen ist außerdem noch, dass der Lichtimpuls beim Durchlauf des Lichtwellenleiters durch Absorption und Rückstreuung gedämpft wird. Über diesen Dämpfungsverlauf können nun Rückschlüsse über die Art des Phänomens an dem zuvor erwähnten Ort durchgeführt werden (vgl. ITWissen, 2013; vgl. Prokop et al., 2013).

Des Weiteren ist es wichtig zu wissen, dass sich jedes Phänomen durch eine eigene Reflexionscharakteristik bestimmen lässt. Dies sei anhand der folgenden Graphik (Abbildung 14) erklärt. (vgl. ITWissen, 2013)

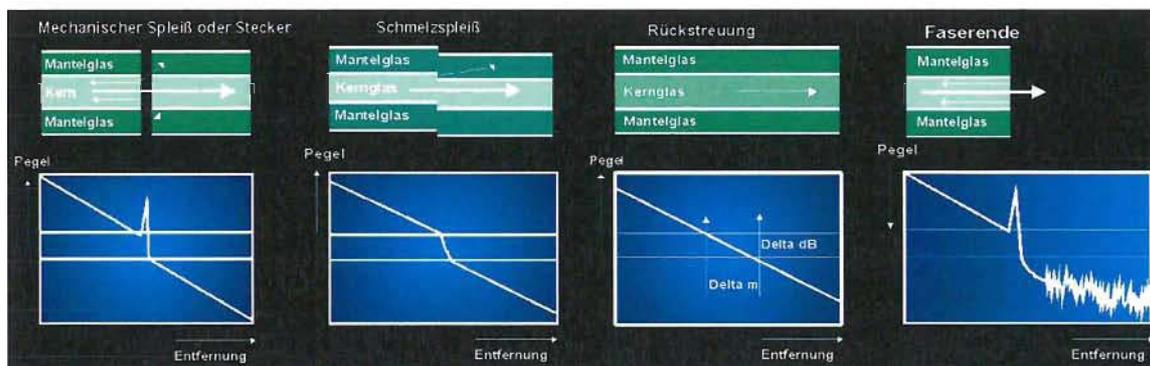


Abbildung 14: Reflexionsverhalten diverser Phänomene (ITWissen, 2013)

## 1.2 Lawinendetektionssysteme

Da Lawinendetektionssysteme stets das selbe Funktionsprinzip aufweisen, sei dieses hier anhand der selbsterklärenden Graphik (Abbildung 15) illustriert.

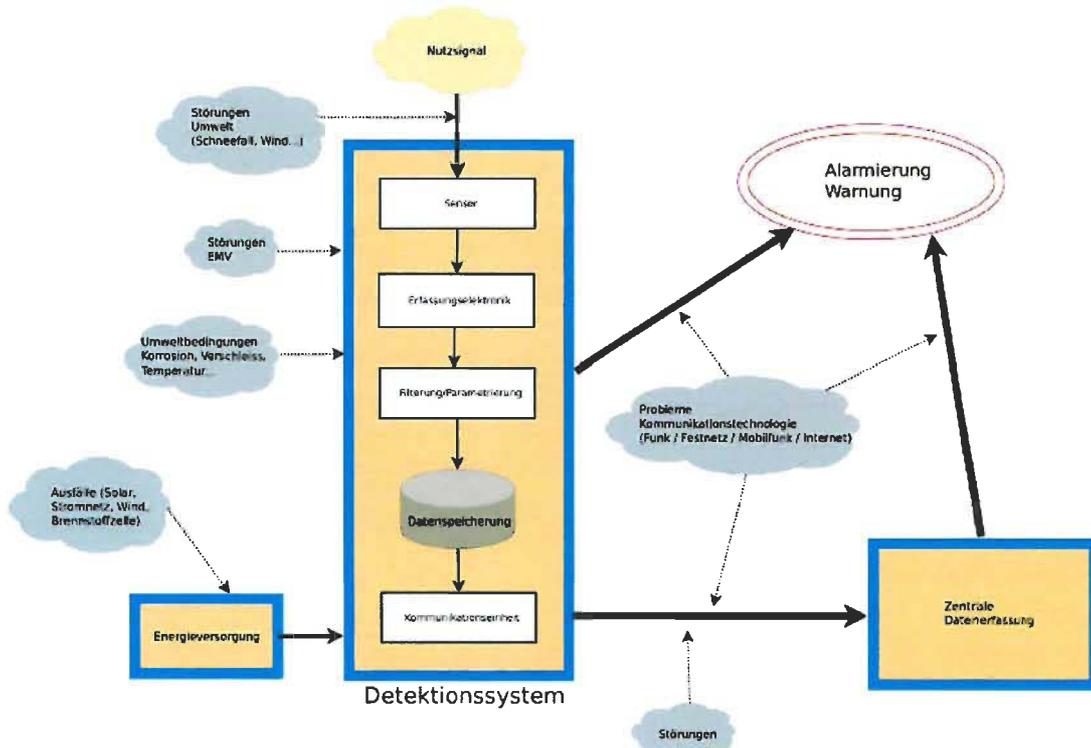


Abbildung 15: Schema eines Detektionssystems (aus Lussi et al., 2012)

### 1.2.1 ARFANG (Infrasound)

Hersteller: Vincent Chritin & Eric Van Lancker / IAV Engineering, Schweiz

Die Lawinendetektionsapplikation ARFANG besteht aus einem zentralisierten System mit 4 Mikrofonen (Abbildung 16), wobei eines von diesen direkt bei der zentralen Datenerfassungs- und Steuereinheit (Abbildung 17) positioniert ist und die anderen 3 dreiecksförmig in einem Umkreis von ca. 50 Metern um diese herum aufgebaut sind. Dieses Lawinendetektionssystem beruht auf dem Prinzip der Infraschall – Goniometrie. Trifft nun ein Infrasoundereignis aus dem Sichtbarkeitsbereich des Systems innerhalb der Sensoranordnung ein, so berechnet die lokale Datenerfassungseinheit alle zwei Sekunden den Einfallswinkel (Azimuth und Elevation) des Ereignisses sowie eine Charakteristik der Infraschall – Signatur. Wird nun ein detektiertes Ereignis als Lawine klassifiziert, so überträgt

das System die vollständigen Erfassungsdaten zum ARFANG – Server, von welchem die zusammengefassten Informationen nach einer kurzen Datenanalyse über das Internet publiziert werden. Die Klassifikation, ob es sich um eine Lawine handelt oder nicht, erfolgt dabei nach diversen Kriterien wie Korrelation, Azimuthverlauf, Dauer und den Frequenzanteilen des Ereignisses (vgl. Lussi et al., 2012; vgl. Lussi, 2010; vgl. IAV Engineering, 2006, vgl. Kindschi, 2010).



Abbildung 16: Infrasondmikrofon - ARFANG



Abbildung 17: Die zentrale Datenerfassungseinheit sowie Position eines der Infrasschallmikrofone - ARFANG

Das Lawinendetektionssystem ARFANG bietet bei optimalen Bedingungen eine Azimuthgenauigkeit von  $\pm 2^\circ$  und kann bis zu einer Reichweite von 5 Kilometern kleine Lawinen detektieren (vgl. IAV Engineering, 2006). Allerdings können sich diese Angaben rasch verringern, sobald die lokale Topographie, das Temperaturprofil in der Atmosphäre sowie die aktuelle Windgeschwindigkeit nicht im optimalen Bereich liegt (vgl. Egli, 2006). Eine derartige Quantifizierung kann für die Elevation nicht angegeben werden. Weil sich in Garsun alle vier Mikrofone beinahe auf der gleichen Höhe befinden, ergibt die vom ARFANG berechnete Elevation eigentlich nie realistische Werte (vgl. Kindschi, 2010). Ob diese bei anderen Standorten funktioniert oder nicht, konnte im Zuge dieser Arbeit nicht festgestellt werden, da dem Autor keine Rohdaten außerhalb Gondas zur Verfügung standen. Bezüglich der beiden erwähnten Orte Garsun und Gonda sei auf das Kapitel 2 verwiesen, in welchem diese und deren Bedeutung für diese Arbeit ausführlich erklärt werden.

Wie auch bei allen anderen Lawinendetektionssystemen, welche mit dem physikalischen Prinzip der Ausbreitung mechanischer Wellen in Gasen arbeiten, ist auch bei dieser Applikation der Wind der am stärksten zu berücksichtigende Faktor. Dabei wird das System umso „tauber“, je stärker der Wind ist. Dies beruht auf dem Faktum, dass lokale Turbulenzen an den diversen Sensoren zu nicht kohärenten Geräuschen mit tiefer Frequenz führen, welche das Signal – Rausch – Verhältnis reduzieren und somit die Reichweite der Detektion (vgl. IAV Engineering, 2006). Das System ARFANG verwendet Differentialdrucksensoren.

Ein weiteres Problem stellt der gleichzeitige Abgang zweier Lawinen unterschiedlicher Lawinenzüge dar (vgl. Burkard und Gauderon, 2008). In einem solchen Fall wird lediglich das stärkere Infrasondsignal detektiert, das schwächere bleibt unberücksichtigt. Diese Einschränkung ist allerdings nicht nur dem ARFANG anbehaftet, sondern sämtlichen Systemen, welche mit Infrasonnd oder hörbarem Schall arbeiten.

Zu erwähnen ist noch, dass es sich beim ARFANG keineswegs um ein Überwachungs- oder Frühwarnsystem handelt. Im Idealfall, inkl. aller Betriebsverzögerungen, erreichen die endgültigen Informationen erst nach etwa 6 Minuten den Endnutzer. Diese „Wartezeit“ kann sich bei nicht idealen Verhältnissen jedoch auf bis zu 20 Minuten, in Ausnahmefällen sogar auf mehrere Stunden vergrößern (vgl. IAV Engineering, 2006).

Die bisher installierten Infrasondsysteme der Firma IAV Engineering werden allesamt mit Netzstrom versorgt. Eine Versorgung mit Solarenergie erscheint grundsätzlich als möglich, wurde aber bis dato nicht realisiert (vgl. Egli, 2006)

Die Kosten für das System ARFANG liegen bei ca. 80.000 CHF, dies entspricht ca. 65.000€ (vgl. Egli, 2006). Darin sind allerdings die Kosten für Eichung und Betreuung in den ersten beiden Wintern, welche ca. 20.000 CHF (ca. 16.000€) betragen würden und der jährliche Unterhalt für die Kontrolle der Sensoren, welcher sich ca. mit 5.000 CHF (ca. 4.000€) zu Buche schlagen würde, noch nicht enthalten (vgl. Burkard und Gauderon, 2008).

Generell ist zu erwähnen, dass kein Lawinendetektionssystem sofort einsatzbereit ist (vgl. Meier und Lussi, 2010). Es sind zunächst einige Ereignisse von Nöten, um die Anlage an die Verhältnisse vor Ort anpassen zu können. IAV Engineering (2006) gibt für die Optimierung einen Zeitraum von ein bis drei Betriebswintern an, abhängig vom Standort.

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse (Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013) dieses Systems am Standort Gonda wird Bestandteil dieser Arbeit sein.

## 1.2.2 Avalanche Sentry (Infrasound)

Hersteller: Ernest Scott / Inter-Mountain Labs, USA

Das Lawinendetektionssystem Avalanche Sentry besteht aus 2 räumlich getrennten Sensorarrays, wobei jedes dieser Arrays einen Infrasoundsensor darstellt. Ein derartiges Array besteht aus einer zentralen Elektronikeinheit (Abbildung 18), 6 Infrasoundmikrofonen und 6 einfachen Gummischläuchen (Abbildung 19), welche die Schallwellen zu den Mikrofonen leiten. Durch diese Anordnung ist es möglich, einen Lawinenabgang zu detektieren sowie dessen Bewegung und Geschwindigkeit zu ermitteln (vgl. Burkard und Gauderon, 2008; vgl. Egli, 2006)



Abbildung 18: Die zentrale Elektronikeinheit – AVALANCHE SENTRY (aus Egli, 2006)



Abbildung 19: Das Sensorarray mit den 6 Gummischläuchen, welche die Schallwellen zu den Mikrofonen leiten – AVALANCHE SENTRY (aus Egli, 2006)

Bei diesen Schläuchen handelt es sich um mikroporöse Schläuche, deren eigentliche Verwendung die Bewässerung von Gärten ist. Sie werden verwendet, um das durch den Wind erzeugte Geräusch zu reduzieren. Weil inkohärente Windgeräusche von Turbulenzen auf einer Fläche kleiner als der von den Schläuchen abgedeckten zu schädlichen Beeinflussungen führen, erscheint eine derartige Anpassung durchaus als sinnvoll (vgl.

Walker und Hedlin, 2010). Allerdings sind derartigen Schläuchen auch einige negative Eigenschaften anbehaftet. Diese sind in den Arbeiten von Walker und Hedlin (2010) sowie Kogelnig (Kogelnig, 2012c) näher beschrieben, weshalb in diesem Zusammenhang auf deren Arbeiten sowie die darin enthaltene weiterführende Literatur verwiesen wird.

Da der Stromverbrauch der Sensorarrays minimal ist, können diese per Solarenergie versorgt werden. Die durch die Arrays erfassten Daten werden per Funk zu einer zentralen Recheneinheit übermittelt. Diese befindet sich innerhalb des Funkbereichs an einem durch Strom erschlossenen Ort und beinhaltet das eigentliche Herzstück des Systems, die Datenanalysesoftware. Bei der Datenanalyse werden die Eingangssignale der verschiedenen Mikrophone mittels Kreuzkorrelation ausgewertet und Lawinenereignisse nach Richtung und Geschwindigkeit des Signals beurteilt. Anschließend wird das Ergebnis auf einer graphischen Oberfläche dargestellt. (vgl. Egli, 2006)

Das in diesem Kapitel erwähnte Detektionssystem bietet ähnlich wie das ARFANG bei optimalen Bedingungen eine Überwachung der Lawinhänge in einem Umkreis von ca. fünf Kilometern, unabhängig von der vorherrschenden Witterung. (vgl. Egli, 2006) Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden Systeme ist die Verwendung von Differentialdrucksensoren.

Generell dürfte das AVALANCHE SENTRY auch mit einem Sensorarray funktionieren. Tests zeigten, dass Lawinenabgänge durch die Analyse der zeitlichen Verzögerung der Daten gut lokalisiert werden konnten. (vgl. Egli, 2006) Allerdings dürfte man sich dann dem großen Vorteil dieses Systems berauben, denn das AVALANCHE SENTRY ist das einzige dem Autor bekannte Infrasondsystem neben dem IDA von Item Geophysics, welches Informationen über die Geschwindigkeit bieten kann.

Anhand der Auswertung für den Lawinenwinter 2007/2008 konnte festgestellt werden, dass das System 60 von 100 Lawinen automatisch korrekt und mit manueller Nachbearbeitung auch die 40 verbleibenden Ereignisse detektiert hat. Gleichzeitig wurden lediglich 2 Fehlalarme produziert (vgl. Burkard und Gauderon, 2008). Wie die späteren Kapitel dieser Arbeit zeigen werden, ist dies ein überragender Wert für ein Lawinendetektionssystem basierend auf der Infrasondentechnik.

Die Kosten für das System AVALANCHE SENTRY liegen bei ca. 150.000 US\$, dies entspricht ca. 110.000€. In diesem Preis sind die jährlichen Unterhaltskosten von ca. 3% (ca. 3.300€)

 EINLEITUNG

noch nicht enthalten. In diesem Zusammenhang muss außerdem noch erwähnt werden, dass es bis dato noch keinen europäischen Vertrieb gibt und sich die Kosten bei einer Installation in Europa wohl nochmals erhöhen würden. (vgl. Burkard und Gauderon, 2008; vgl. Egli, 2006).

Des Weiteren handelt es sich auch bei dieser Anlage um kein Überwachungs- oder Frühwarnsystem. (vgl. Egli, 2006)

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse dieses Systems wird nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.3 IDA (Infrasound)

Hersteller: E. Marchetti und G. Olivieri / Item Geophysics, Italien

Die Lawinendetektionsapplikation IDA besteht ähnlich wie das ARFANG aus einem zentralisierten System mit bis zu 5 Mikrofonen (Abbildung 20), wobei eines von diesen direkt bei der zentralen Einheit (Abbildung 21) positioniert ist und die restlichen sternförmig in einem Abstand von bis zu 150 Metern um diese herum angeordnet sind. Wie bereits beim System von Ernest Scott beschrieben, handelt es sich dabei um ein Array, welches eine Datenanalyse nach dem Prinzip der Signalkohärenz ermöglicht (Abbildung 22). Auf die von dem Array aufgezeichneten Infrasounddaten wird eine multikanalige Korrelationsanalyse als Funktion der scheinbaren Geschwindigkeit, des Azimuths, der Frequenz des aufgezeichneten Infraschalls und der Zeitdifferenz angewandt. Bei diesem System wird wiederum auf akustische Differentialdrucksensoren zurückgegriffen. (vgl. Kogelnig, 2012a; vgl. Olivieri et al., 2011)



Abbildung 20: Infrasoundsensor – IDA (aus Kogelnig, 2012a)



Abbildung 21: Zentrale Einheit - IDA (aus Kogelnig, 2012a)

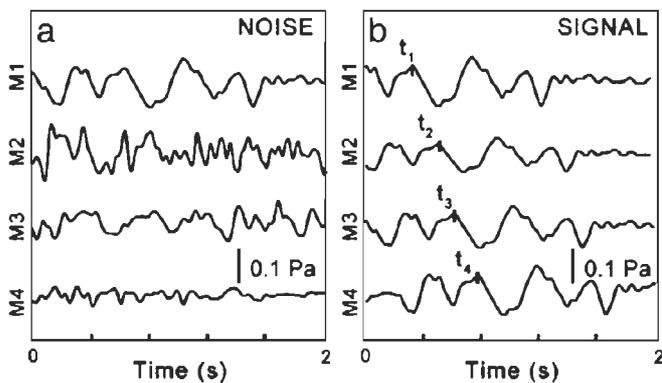


Abbildung 22: Erklärung des Prinzips der Signalkohärenz (aus Olivieri et al., 2011). a) Das über die 4 Sensoren erfasste Geräusch zeigt keine Anzeichen von Korrelation b) Das über die 4 Sensoren erfasste Signal zeigt deutliche Anzeichen von Korrelation

Um die störenden Einflüsse des Windes auf die Sensoren zu reduzieren, werden diese, sofern die Möglichkeit besteht, in einem Wald in von Schnee überdeckten Aluminiumboxen platziert (vgl. Adam et al., 1998; vgl. Olivieri et al., 2011).

Mit Hilfe des Detektionssystems IDA können Lawinen über eine Distanz von mehreren Kilometern unabhängig von den Sichtverhältnissen detektiert werden. Außerdem gibt Item

Geophysics eine Genauigkeit von  $1^\circ$  für die Lokalisation einer Lawine mittels des Azimuthes an.

Da sich dieses System erst in Entwicklung befindet, können noch keine konkreten Angaben über den zeitlichen Ablauf einer Detektion bekanntgegeben werden. Item Geophysics vermerkt auf seiner Homepage (vgl. Item Geophysics, 2013), dass das IDA mit verschiedenen Übertragungstechniken kombiniert werden kann und ein Echtzeit - Monitoringtool darstellt. Dies darf aber angesichts der bisherigen Erfahrungen mit Infrasoundsystemen bezweifelt werden.

Die Ergebnisse der Detektionen werden, analog ARFANG und AVALANCHE SENTRY, ebenfalls auf einer graphischen Oberfläche dargestellt.

Das System IDA kann mittels Solarenergie betrieben werden (vgl. Kogelnig, 2012a).

Eine interessante Möglichkeit, welche bisher noch bei keinem anderen Infraschallsystem realisiert wurde, ist die Detektion der Explosionen von Anlagen der künstlichen Lawinenauslösung. Dabei ordnet IDA die Explosionen den einzelnen Zündrohren, Sprengmasten, etc. zu und ermöglicht somit den mit der künstlichen Lawinenauslösung beauftragten Personen eine perfekte Validierung auch bei schlechter Sicht (vgl. Item Geophysics, 2013).

Da sich das System IDA erst in Entwicklung befindet, können hier noch keine Angaben über die diversen Kosten angeführt werden.

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse (Lawinenwinter 2012/2013) dieses Systems am Standort Ischgl wird Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.4 UHU (Infrasound)

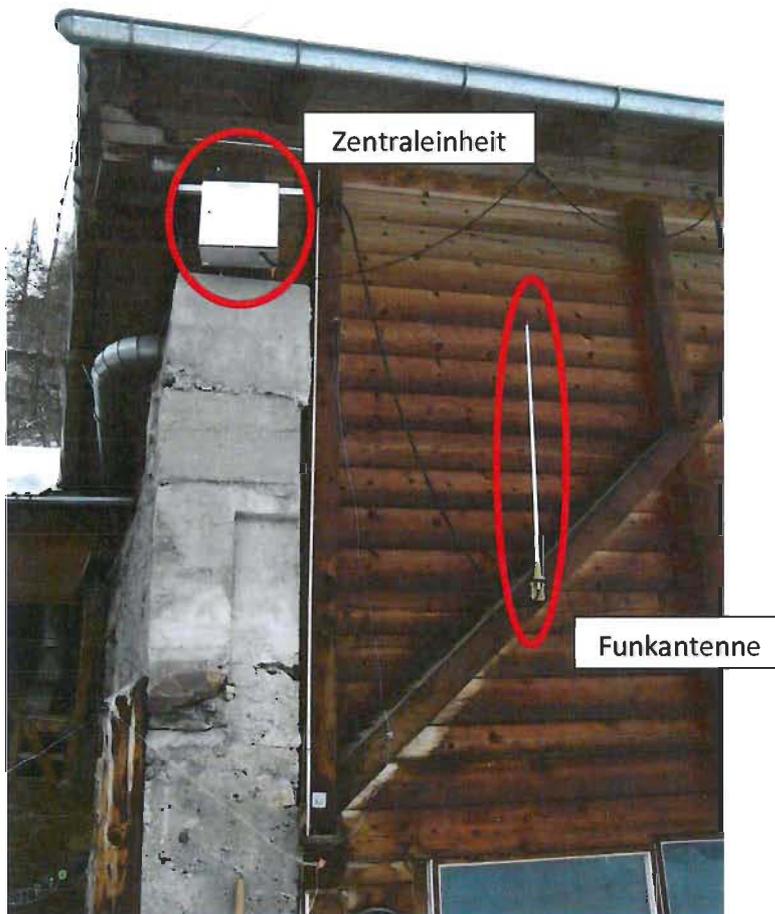
Hersteller: Lorenz Meier / SLF, Schweiz

Die Lawinendetektionsanlage UHU basiert ebenfalls auf Differentialdrucksensoren. Allerdings wurde beim System UHU vom SLF versucht, diese Sensoren mit kostengünstigen Differenzdrucksensoren in Eigenregie zu bauen. (vgl. Meier und Lussi, 2011)

Bei diesem System werden die durch den Infraschall in der Atmosphäre verursachten Druckschwankungen mittels eines Massenflusssensors, welcher den Luftfluss zwischen einem Druckreservoir und der Atmosphäre misst, aufgezeichnet. Derartige Apparaturen befinden sich im Abstand von mehreren hundert Metern montiert auf Bäumen (Abbildung 23). Die Infrasoundsensoren werden mit Solarenergie betrieben und übermitteln die erfassten Daten mittels Funk an eine Zentraleinheit (Abbildung 24). Diese Zentraleinheit wird mit Netzstrom gespeist und übermittelt via Internet die Daten an das SLF, wo diese weiter verarbeitet werden. (vgl. Meier und Lussi, 2011; vgl. Lussi et al., 2012; vgl. Schoch, 2012)



Abbildung 23: Einer der Infrasondsensoren – UHU (aus Schoch, 2012)



**Abbildung 24: Die Zentraleinheit mit Funkantenne - UHU**

Die Idee war, dass durch den großen Sensorabstand (insgesamt über einen Kilometer), analog der Array – Technologie der drei zuvor erwähnten Infrasondsysteme, lokale Störsignale noch besser reduziert werden können. Obwohl es noch keine statistische Auswertung des UHUs gibt, hat sich der Wind an den gewählten Standorten der Sensoren als großes Problem herausgestellt. (vgl. Meier und Lussi, 2011; vgl. Schoch, 2012). In wie weit noch andere Faktoren (z.B.: Eigenschwingungen der Bäume) einen störenden Einfluss auf die erfassten Aufzeichnungen haben, ist bis dato nicht bekannt.

Im SLF – Schlussbericht (Lussi et al., 2012) wird festgehalten, dass sich das System von der Technik her als gute Alternative zum ARFANG bewährt hat. Insbesondere die Möglichkeit der Detektion von Infrascalldaten unter drei Hertz wird darin positiv hervorgehoben und als Verbesserung gegenüber dem ARFANG angepriesen. Ob dies wirklich einer Verbesserung entspricht oder nur an den bandgefilterten Daten des ARFANGs liegt, ließ sich im Zuge dieser Arbeit nicht genau ermitteln.

Dieses System befindet sich derzeit in Entwicklung, weshalb noch keine Informationen aus dem operativen Betrieb bzw. über etwaige Kosten zur Verfügung stehen. Des Weiteren wären noch viele Verbesserungen hinsichtlich Antennen, Funkübertragung, Batteriekapazität, Datenzwischenspeicherung, etc. von Nöten, um diese Lawinendetektionsapplikation in einen operativen Zustand zu heben (vgl. Lussi et al., 2012).

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse (Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013) dieses Systems am Standort Gonda wird Bestandteil dieser Arbeit sein.

## 1.2.5 Lawinenradar (Radartechnologie)

Hersteller: Daniel Stock / H&S Hochfrequenztechnik GmbH, Österreich

Beim Lawinenradar handelt es sich um ein gepulstes Doppler - Radar mit digitaler Pulskompression. Die Funktion eines derartigen Radars wurde schon in Kapitel 1.1.4 beschrieben, allerdings muss hier angemerkt werden, dass H&S für die Pulskompression ein proprietäres Korrelationsverfahren verwendet. Diese firmeneigene Technik ist der phasencodierten Impulsform sehr ähnlich, allerdings sind damit größere Reichweiten möglich. Ein weiterer großer Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Ermöglichung von der beliebigen Gestaltung der Sendepulsdauer und Entfernungsauflösung (vgl. Hofbauer und Koschuch, 2012; vgl. Hübl et al., 2012).

Die Beleuchtung eines Berghanges erfolgt mit einem pulsförmig begrenzten elektromagnetischen Wellenpaket im Mikrosekundenbereich zu diskreten Zeitpunkten. Dabei sind die diskreten Zeitpunkte genau im Abstand der räumlichen Pulslänge angeordnet. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von „Range Gates“ oder Entfernungstoren (Abbildung 25). Die Länge der Entfernungstore ist dabei nicht beliebig, sondern ergibt sich aus der Dauer der Ausstrahlung einer elektromagnetischen Welle multipliziert mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser. Für die Analyse des rückgestrahlten „Echos“ muss sowohl der Rückstreuungskoeffizient als auch die beleuchtete Fläche bekannt sein (vgl. Hofbauer und Koschuch, 2012; vgl. Hübl et al., 2012).

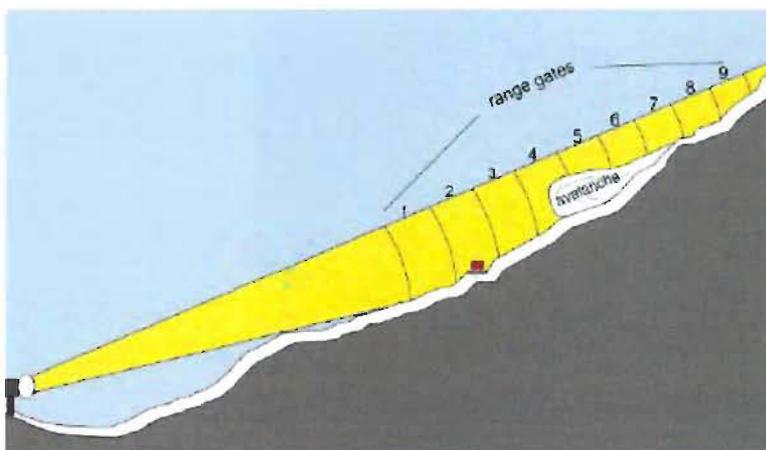


Abbildung 25: "Range Gates" oder Entfernungstore – Lawinenradar (aus Kogelnig, 2012b)

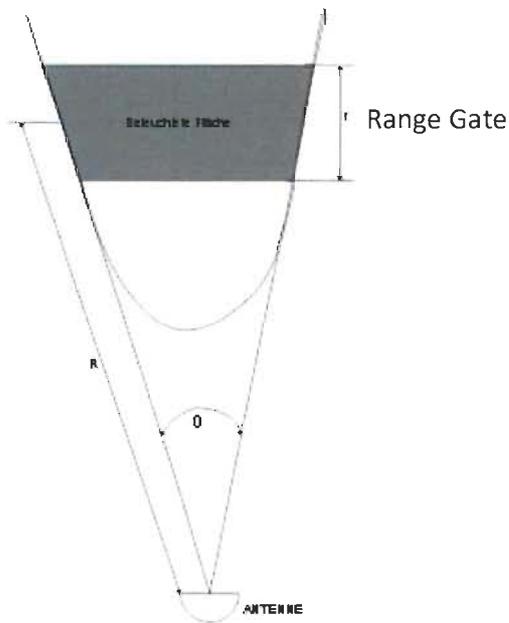


Abbildung 26: Beleuchtung eines Berghanges aus der Sicht von oben - Lawinenradar (aus Hofbauer und Koschuch, 2012)

Die beleuchtete Fläche wird in tangentialer Richtung durch die Grenzen der Antennenkeule und in radialer Richtung durch die begrenzte Beleuchtungsdauer bestimmt (Abbildung 26). Obwohl es für das Lawinenradar mehrere Antennenlösungen gibt, wird zumeist eine Parabolantenne verwendet (Abbildung 27) (vgl. Hofbauer und Koschuch, 2012).



Abbildung 27: Das Lawinenradar mit der gut sichtbaren Parabolantenne - Ischgl

Mit dem Lawinenradar ist es möglich, Lawinen ab einer Fläche von ca. einem Quadratmeter bei einer Entfernung von 2 Kilometer zu detektieren. Die maximal detektierbare Entfernung wird von der H&S Hochfrequenztechnik GmbH bei einem Antennenöffnungswinkel von 5° mit einer Distanz von zwei Kilometer angegeben, wobei maximal 38 Entfernungstore für die Erfassung von Lawinen herangezogen werden können. Dabei können einzelne Range Gates für die Alarmierung aus den Analysen ausgeschlossen werden, wenn diese eine Quelle für etwaige Fehlalarme darstellen würden. Je näher eine Lawine dem Lawinenradar ist, desto größer kann der Öffnungswinkel und desto kleiner kann die Lawine sein. Wird bei der Abtastung ein bestimmter Schwellenwert, welcher zumeist eine Kombination von Signaldauer und Signalamplitude darstellt, überschritten, so löst das Radar einen Alarm aus. Generell lässt sich das Radar bezüglich Entfernungstorlänge, Entfernung zur Lawine und Antennenöffnungswinkel sehr gut auf die jeweiligen Anforderungen einstellen. Grundsätzlich könnte das Lawinenradar auch mit mehreren Antennen betrieben werden um eine größere Fläche überwachen bzw. detektieren zu können. Eine Realisierung dieses Vorhabens gibt es aber bis dato nicht (vgl. Hübl et al., 2012).

Von Seiten der H&S Hochfrequenztechnik GmbH wurden zwei Analysetools für die aufgezeichneten Radardaten entwickelt. Eines dient der Visualisierung des Lawinenabganges (Abbildung 28), wobei dieser sowohl in Echtzeit als auch im Nachhinein betrachtet werden kann. Das zweite Programm ist mehr für wissenschaftliche Zwecke geeignet und offeriert dem Nutzer eine genaue Datenanalyse der Rohdaten.

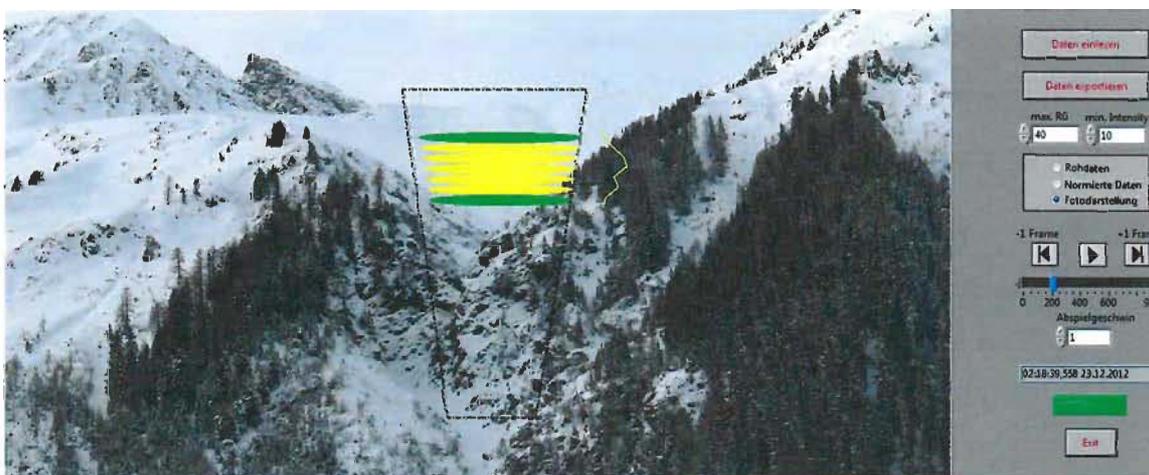


Abbildung 28: Visualisierung einer Lawine mit dem von H&S entwickelten Tool – Lawinenradar – Großtallawine Ischgl

Durch die Vielfalt an diversen Schneeformen ist derzeit noch keine geschlossene Theorie für das Reflexionsverhalten von Schnee bekannt. Dieser Umstand ist derzeit Thema der Forschung und würde bei einem entsprechend entwickelten Modell dem Radar neue Funktionen ermöglichen, indem man über die aufgezeichnete Reflexion auf die vorherrschende Schneeform schließen könnte (vgl. Hofbauer und Koschuch, 2012).

Es wäre durchaus möglich, das Lawinenradar als Frühwarn- bzw. Überwachungssystem zu nutzen. Eine Kombination mit einer automatischen Sperre einer Straße durch eine Ampelanlage oder mit einer automatischen Auslösung einer Sirene in einem Wintersportgebiet wurde aber noch nicht realisiert (vgl. H&S Hochfrequenztechnik GmbH, s.a.b).

Die Daten des Lawinenradars können, je nach Gegebenheit, über GSM, UMTS oder WLAN übertragen werden. Auch bezüglich der Stromversorgung ist das Radar flexibel und kann sowohl per Netzstrom als auch per Solarenergie versorgt werden. Grundsätzlich gibt es sowohl eine stationäre als auch eine mobile Version dieser Lawinendetektionsapplikation, welche beide die gleichen Fähigkeiten und Einschränkungen vorweisen (vgl. H&S Hochfrequenztechnik GmbH, s.a.b).

Der große Nachteil dieses Systems ist die Tatsache, dass lediglich in einem relativ begrenzten Bereich (ca. 200m Streifenbreite bei zwei Kilometern Abtastungslänge), sprich idealerweise in einem einzelnen kanalisierten Lawinenzug, Lawinen detektiert werden können (Lussi et al., 2012). Allerdings kann auch die genaue Ausrichtung der Antenne erhebliche Schwierigkeiten mit sich bringen. Dies kann bei manchen Standorten (z.B.: Grimming) eine Dauer von zwei und mehr Jahren erfordern (pers. Kommunikation Hofbauer - H&S Hochfrequenztechnik GmbH, 11.11.2013).

Die reinen Anlagekosten für das Lawinenradar betragen, unabhängig ob mobil oder stationär, 68.000€. Hinzukommen noch 5.000€ für Planung, Installation und Servicekosten im ersten Jahr sowie 2.500€ jährlich ab dem zweiten Jahr als Servicekostenpauschale (H&S Hochfrequenztechnik GmbH, s.a.a).

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse (Lawinenwinter 2012/2013) dieses Systems am Standort Ischgl wird Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.6 Radar LISA (Radartechnologie)

Hersteller: Joaquim Fortuny – Guasch / Institute for the Protection and Security of the Citizen, Italien

Die Lawinendetektionsapplikation LISA evaluiert mittels Radarbildern vor und nach der Sprengung deren Erfolg. Der Scan eines derartigen Bildes für ein Areal von 2 x 2 Kilometern dauert ca. 11 Minuten und bietet eine räumliche Auflösung von 7,3 x 2,5 Metern. Daraus lässt sich ableiten, dass diese Technik für ein automatisches Überwachungs- oder Frühwarnsystem nicht geeignet ist (vgl. Burkard und Gauderon, 2008).

Interessant erscheint jedoch die Tatsache, dass mehrere benachbarte Lawinenzüge mit diesem Radar detektiert werden können. Dies stellt in der Radartechnik ein Novum dar. (vgl. Burkard und Gauderon, 2008).

Das Radarsystem ist auf einem Anhänger – Wagen montiert und kann per Helikopter zu diversen Einsatzorten geflogen werden (Abbildung 29). Des Weiteren benötigt es eine permanente Stromversorgung (vgl. Burkard und Gauderon, 2008).



Abbildung 29: System LISA – Radartechnologie (aus Burkard und Gauderon, 2008)

Bei den vom SLF durchgeführten Versuchen zu Forschungszwecken (2003 bis 2006) konnte das Radar 56 von 66 Lawinen automatisch detektieren. Mit einer manuellen Nachbearbeitung der Aufzeichnungen war sogar eine Detektionsrate von 100% möglich. (vgl. Burkard und Gauderon, 2008)

Die Kosten für dieses System belaufen sich auf 75.000€ exklusive ca. 750€ Betriebs- und Unterhaltskosten pro Jahr (vgl. Burkard und Gauderon, 2008).

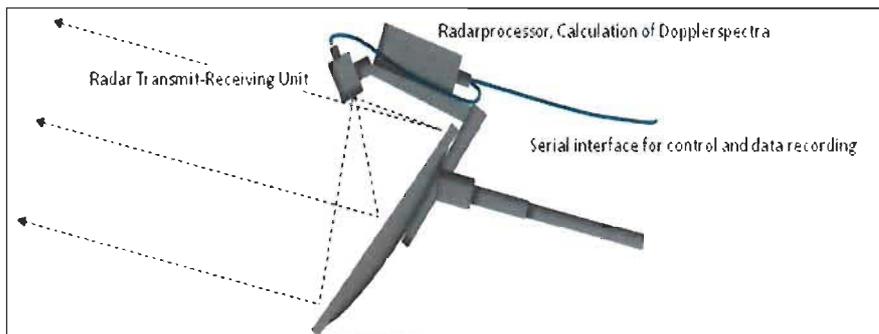
Aufgrund dessen, dass die technischen Spezifikationen dieses Systems längst überholt sind, die Links in älteren Publikationen zu diversen Webseiten alle ins Leere führen und seit 2008 keine Publikation mehr auf diese Detektionsanlage zurückgegriffen hat, erscheint es als unwahrscheinlich, dass dieses System jemals den Sprung über die Entwicklungsstufe geschafft hat bzw. schaffen wird.

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse dieses Systems wird nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.7 Radar Sommer/tytec/Metek (Radartechnologie)

Hersteller: Sommer – Messtechnik GmbH / tytec AG / Metek GmbH, Österreich / Schweiz / Deutschland

Bei diesem Radar handelt es sich um ein Doppler – Radar mit Offset Parabolantenne (Abbildung 30). Es wurde im Winter 2010/2011 vom SLF am Standort Ochsenstäfli montiert und wies im Betrieb eine Wellenlänge im Zentimeterbereich sowie einen Antennenöffnungswinkel von  $1,5^\circ$  auf. Die zu detektierende Lawinendurchgangszone war 330 Meter vom Radar entfernt und wurde mittels 5 ausgewählten Range Gates, zentriert um den Brennpunkt, erfasst (vgl. Meier und Lussi, 2011).



**Abbildung 30: Funktionsprinzip des Radars Sommer und Co. – Radartechnologie (aus Meier und Lussi, 2011)**

Im Zuge des Betriebs war es auch möglich, Niederschlag zu detektieren. Im Winter 2010/2011 wurden insgesamt 53 Ereignisse detektiert (35 davon bei Tageslicht und ohne Niederschlag), wovon 34 validiert werden konnten (vgl. Meier und Lussi, 2011).

Im vom SLF herausgegebenen Zwischenbericht für das Projekt Lawinendetektion im Zeitrahmen des Winters 2010/2011 (vgl. Meier und Lussi, 2011) wird außerdem erwähnt, dass dieses System im Winter 2011/2012 erneut installiert wird. Für diesen Zeitraum wurden jedoch leider keine Daten oder Ergebnisse publiziert.

Ob dieses System weiterentwickelt und irgendwann Marktreife erlangen wird, lässt sich derzeit nicht prognostizieren. Jedenfalls wird das Radar auf keiner der Homepages der drei beteiligten Firmen erwähnt und dem Autor dieser Arbeit sind auch keine nach dem Zwischenbericht erschienenen Publikationen bekannt.

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse dieses Systems wird nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.8 System AlpuG (Seismik)

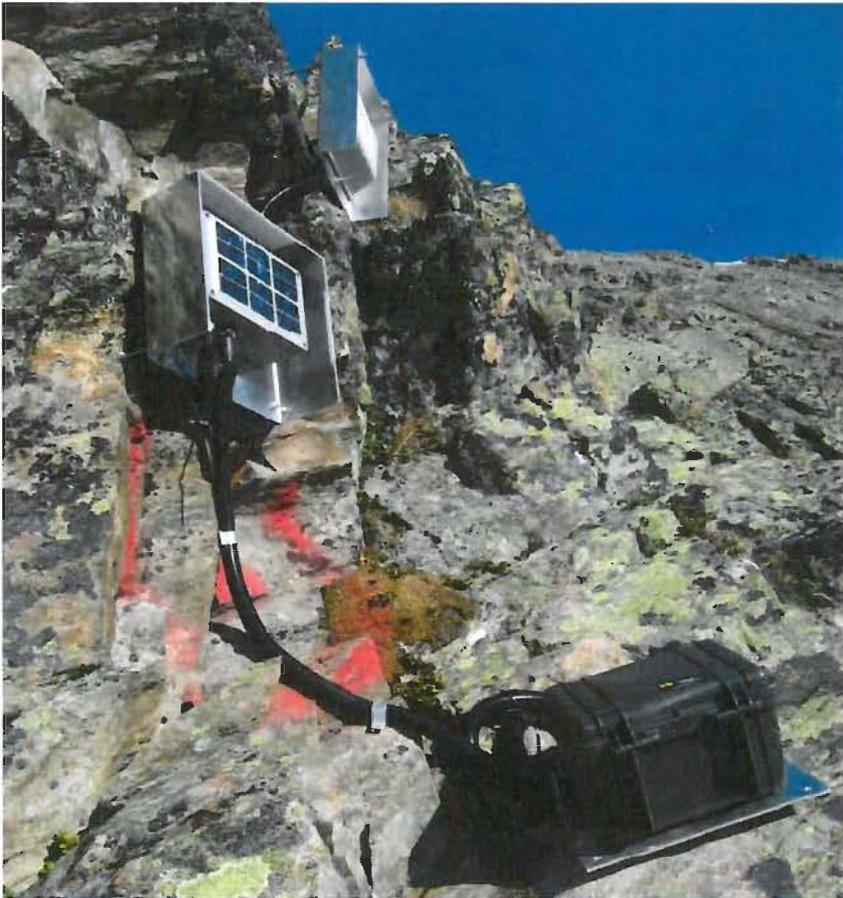
Hersteller: Hansueli Gubler, AlpuG, Schweiz

Die Firma AlpuG besitzt einen reichen Erfahrungsschatz im Zusammenhang mit Lawinendetektionsanlagen. Allerdings kann das von Hansueli Gubler am meisten installierte System (Paket aus Kabelzug- und Kabelerschütterungssensoren, Bodenschütterungssensoren, Dopplerradar und Wegmesser) lediglich einen, maximal zwei Lawinenzüge detektieren. Da derartige Anlagen nicht Thema dieser Masterarbeit sind und im Gegensatz zum Radar auch kein Entwicklungspotential für größere Areale offenbaren (Kabelzugsensoren, etc.), wird im Folgenden auf diese nicht näher eingegangen und ausschließlich auf die rein über Seismik operierenden Systeme berichtet (vgl. Burkard und Gauderon, 2008; vgl. Gubler, 1999).

Das System AlpuG besteht aus voneinander unabhängig arbeitenden Geophonen. Bei diesen Geophonen wird mittels eines elektro – mechanischen Wandlers eine Bodenschwingung in ein analoges Spannungssignal umgewandelt. Erreicht das Spannungssignal einen bestimmten Schwellenwert (Trigger), so wurde ein Event detektiert. Dies führt automatisch zu einer Aufzeichnung von 60 Sekunden des folgenden Signals. Erreicht das folgende Signal einen weiteren Schwellenwert (SMS), so wurde ein als Lawine klassifiziertes Ereignis detektiert und ein Alarm wird abgesetzt. Dabei erfolgt eine Übermittlung der Erschütterungsdaten per SMS an maximal drei Telefonnummern. Empfindlichkeit und Trigger – Niveau können beim System AlpuG über einen Datenlink in 4 Stufen eingestellt werden (vgl. Gubler, 2012b; vgl. Lussi et al., 2012).

Idealerweise werden die Geophone ab Beginn der Kanalisation im unteren Bereich einer Lawine positioniert, da dort die besseren seismischen Signale detektiert werden können. Dies ist allerdings kein Muss, wie die Geophone in Gonda beweisen. Eine Montage auf Fels ist auf jeden Fall zu bevorzugen (vgl. Gubler, 2012b; vgl. Lussi et al., 2012).

Die Geophone werden üblicherweise mittels Solarenergie (Abbildung 31) versorgt. Die seismischen Daten werden zusammen mit den Systemkontrolldaten intern abgelegt und können zwei Mal täglich zu festgelegten Zeitpunkten über ein Modem abgefragt werden (vgl. Gubler, 2012b).



**Abbildung 31: Geophon – Seismik (aus Gubler, 2012b)**

Mit Hilfe des Geophons können auch Detonationen detektiert werden, wobei die Detektionsrate generell sehr standortabhängig ist. Außerdem ist der Abdeckungsbereich durch die in Kapitel 1.1.2 genannten Faktoren stark limitiert (vgl. Gubler, 2012a).

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass es sich beim System AlpuG keineswegs um ein Überwachungs- oder Frühwarnsystem handelt. Im Idealfall erreicht das SMS mit einer Verzögerung von 70 bis 90 Sekunden den Empfänger, sofern durch den Provider keine längere Wartezeit entsteht. (vgl. Gubler, 2012a)

Die Kosten für dieses System belaufen sich auf ca. 7.000€ pro Geophon und ca. 200€ Betriebs- und Unterhaltskosten pro Jahr (vgl. Gubler, 2013).

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse (Lawinenwinter 2012/2013) dieses Systems am Standort Gonda wird Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.9 System SensAlpin (Seismik)

Hersteller: SensAlpin GmbH, Schweiz

Die von SensAlpin hergestellte Anlage umfasst drei Geophone, welche über eine Distanz von 300 Metern direkt im Lawinenzug stationiert sind. Zum Schutz der Geophone sind diese in Betonschächten montiert. Es wird dabei kontinuierlich das DC – Signal, ein leicht integriertes AC – Signal sowie die Frequenz der Überschreitung eines bestimmten Signalpegels erfasst. (vgl. Lussi, 2010)

Im Lawinenwinter 2009/2010 wurde der eingestellte Schwellenwert insgesamt vier Mal überschritten, wobei es sich allenfalls bei einem Ereignis um einen kleinen Rutsch gehandelt haben kann. Die restlichen drei Ereignisse sind als Fehldetektionen zu interpretieren (vgl. Lussi, 2010).

Aufgrund der Tatsache, dass dieses System seit 2010 in keinen Publikationen im Zusammenhang mit Lawinendetektionsanlagen mehr aufgetaucht ist und auch auf der Homepage von SensAlpin nicht erwähnt wird, ist zu bezweifeln, ob es derzeit noch weiterentwickelt wird.

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse dieses Systems wird nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.2.10 Avalanche Detector (OTDR)

Hersteller: Alexander Prokop / Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

Der Avalanche Detector beruht auf einer in der Lawinendetektion völlig neuartigen Technologie, der optischen Zeitbereichsreflektometrie. Die Sensoren bilden dabei vergrabene Lichtwellenleiter bzw. Glasfaserkabeln, welche eine Länge von bis zu 30 Kilometern aufweisen können. Mittels dieser Kabel ist es möglich, sowohl akustische als auch seismische Signale mit einer räumlichen Auflösung von bis zu einem Meter zu detektieren (vgl. Prokop et al., 2013).

Das System wurde in den Lawinenwintern 2011/2012 und 2012/2013 erstmals getestet und zeigte durchaus gute Ergebnisse. So konnten sämtliche 52 künstlich ausgelösten Lawinen in einem Größenspektrum von ein paar Metern bis zu 250 Metern genauso detektiert werden, wie 59 getätigte, jedoch nicht erfolgreiche künstliche Lawinenauslösungen (vgl. Prokop et al., 2013).

Der Avalanche Detector besitzt zwei große Vorteile gegenüber anderen Systemen. Dies ist einerseits seine völlige Immunität gegenüber Wind und Schneefall und andererseits die Möglichkeit der genauen Detektion der Auslauflänge. (vgl. Prokop et al., 2013).

Bei den Tests in St. Anton am Arlberg wurde jedoch lediglich ein Lawinenzug von 230 Metern Länge mit einem Glasfaserkabel bestückt und ausgewertet (vgl. Prokop et al., 2013). Die Funktion dieses Systems für mehrere Lawinenzüge und über größere Kabellängen wurde bis dato nicht untersucht, weshalb sich dieses System als vollwertige Lawinendetektionsapplikation erst beweisen muss.

Des Weiteren stellt der Umstand, dass zumindest Signale geringer Größe nur detektiert werden können, wenn sie unmittelbar über der Kabelpositionierung entstehen, einen Nachteil gegenüber anderen Systemen dar. Der größte Nachteil des Avalanche Detectors ist aber mit Sicherheit sein Preis von ca. 250.000€ (vgl. Prokop et al., 2013).

Die Interpretation sowie Analyse der Ergebnisse dieses Systems wird nicht Bestandteil dieser Arbeit sein.

### 1.3 Die alpine Massenbewegung Lawine

Generell unterscheidet man trockene und nasse Schneebrettlawinen, trockene und nasse Lockerschneelawinen, Staublawinen und Gleitschneelawinen (vgl. WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013). Da diesen Termini in den weiteren Kapiteln eine große Bedeutung zukommt, werden sie hier kurz erläutert:



Bei der Schneebrettlawine handelt es sich um eine Lawine, welche durch den Abbruch einer Schneetafel entsteht. Sie ist durch einen linienförmigen, quer zur Hangrichtung verlaufenden Anriss charakterisiert (vgl. ONR 24805, 2009).

Abbildung 32: Schneebrettlawine in Pischa, Davos (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Foto: T. Wiesinger)



Abbildung 34: Trockene Lockerschneelawine (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013)



Abbildung 33: Nasse Lockerschneelawine (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013)

Lockerschneelawinen entstehen an einem Punkt und breiten sich von diesem birnenförmig aus (vgl. ONR 24805, 2009).



**Abbildung 35: Staublawine Vallee de la Sionne (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 10.02.1999)**

Staublawinen sind Lawinen aus feinkörnigem, trockenem Schnee, welche ein Schnee - Luft – Gemisch bilden und sich in weiterer Folge teilweise oder ganz vom Boden abheben können (vgl. ONR 24805, 2009).



**Abbildung 36: Gleitschnee- bzw. „Fischmaul“ (Lawinenwarndienst Tirol, 2013)**

Gleitschneelawinen bilden sich zumeist aus sogenannten Gleitschneemäulern oder „Fischmäulern“. Sie entstehen durch eine Herabsetzung der Reibung an der Grenze zwischen Boden und Schnee. (vgl. WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 2013)

Allerdings kommen Trockenschneelawinen und Nassschneelawinen nur selten in ihrer reinen Form vor. Zumeist treten sogenannte Mischlawinen, bestehend aus einer dichten Fließlawinenschicht, einer Saltations- oder Übergangsschicht und einer Suspensions- oder Staubschicht in Erscheinung (Abbildung 33). Oftmals ist ein trockener Fließkern von einer vernässten Fließschicht umgeben, insbesondere wenn die Lawine in Regionen ausgelöst wurde, wo der Schnee noch trocken war und sie in ihrem weiten Verlauf Höhenlagen erreicht, wo der Schnee nasser ist (vgl. Kogelnig, 2012c; vgl. Sovilla et al., 2010).

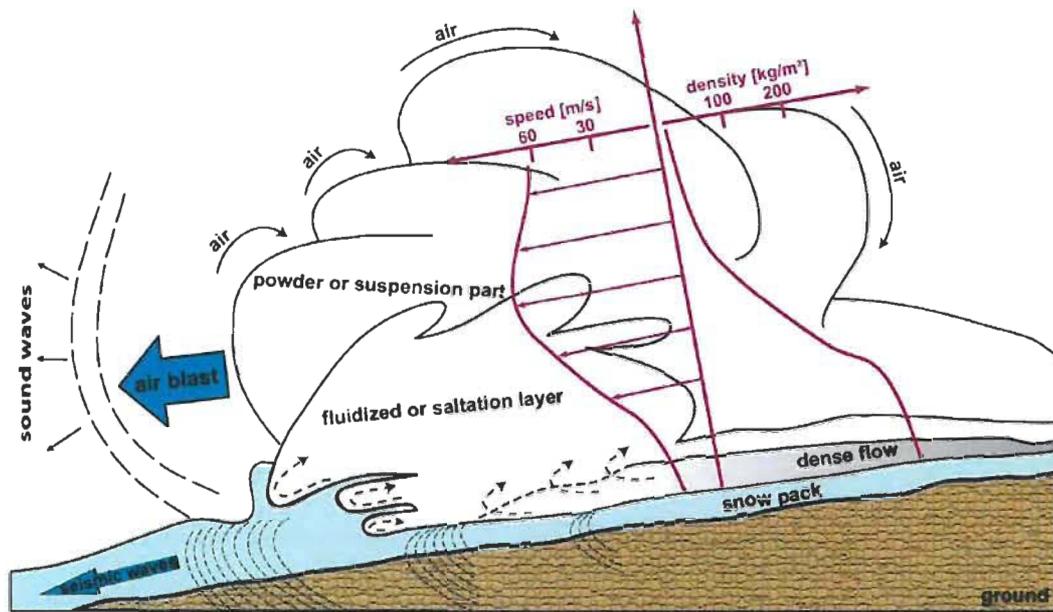


Abbildung 37: Querschnitt einer Mischlawine sowie Darstellung der Quellen seismischer und akustischer Emissionen (aus: modifiziert nach McClung und Schaerer, 2006 und Gauer et al., 2008 in Kogelnig, 2012c)

Im Gegensatz dazu können reine Nassschneelawinen nur in Extremfällen hinsichtlich Fallhöhe und Steilheit eine Saltations- und Staubschicht ausbilden. Des Weiteren weisen Nassschneelawinen durch ihren hohen Wassergehalt eine wesentlich höhere Dichte auf und erzeugen damit mehr Reibung an der Gleitfläche als Misch- oder Trockenschneelawinen. Damit verbunden sind auch geringere Geschwindigkeiten und Auslauflängen im Vergleich zu Trockenschneelawinen äquivalenter Masse und Lawinenlänge (vgl. McClung und Schaerer, 2006).

Analog der Abbildung 37 nimmt man an, dass die Suspensionsschicht einer Lawine eine sich bewegende, turbulente Schallquelle für Infrasound darstellt (vgl. Kogelnig, 2012c). Daraus lässt sich schließen, dass die Infraschallemissionen von Nassschneelawinen deutlich geringer ausfallen müssen, da diese keine Suspensions- oder Staubschicht ausbilden können. Der Beweis dieses Phänomens wird in Kapitel 3.2.1 angetreten.

Im Gegensatz dazu stellt der dichte Fließkörper bzw. dessen basale Reibung mit dem Untergrund oder der Schneebedeckung sowie Änderungen in der Lawinenbahn die Hauptursache für seismische Energie generiert von Lawinen dar (vgl. Biescas et al., 2003; vgl. Schneider et al., 2010; vgl. Surinach et al., 2000; vgl. Vilajosana et al., 2007 in Kogelnig, 2012c). Daraus lässt sich resümieren, dass Nassschneelawinen aufgrund ihrer höheren Dichte und damit verbundenen höheren Reibung mehr seismische Emissionen erzeugen

müssen als Trockenschneelawinen. Der Beweis dieser Behauptung wird wiederum in Kapitel 3.2.2 angetreten.

### 1.3.1 Größenklassifikation von Lawinen

In den folgenden Kapiteln wird oftmals auf die Größe einer Lawine Bezug genommen. Deshalb soll hier die allgemein gültige Größenklassifikation von Lawinen angeführt werden.

Größe	Name	Reichweite	Schadenspotenzial	typische Länge und Volumen
Große 1	"Rutsch"	Schneeuablagerungen mit sehr geringer Verschüttungsgefahr, jedoch Absturzgefahr	relativ harmlos für Personen	Länge < 50 m, Volumen < 100 m <sup>3</sup>
Große 2	kleine Lawine	kommt in Hängen zum Stillstand	kann eine Person verschütten, verletzen oder töten	Länge < 100 m, Volumen < 1 000 m <sup>3</sup>
Große 3	mittlere Lawine	erreicht den Hangfuß von Hängen	kann Pkw's verschütten und zerstören, schwere LKW's beschädigen, kann kleine Gebäude zerstören und einzelne Bäume brechen	Länge < 1 000 m, Volumen < 10 000 m <sup>3</sup>
Große 4	große Lawine	überwindet flachere Geländeteile (deutlich unter 30°) über eine Distanz von >50m, kann den Talboden erreichen	kann schwere LKW's und Schienenfahrzeuge verschütten und zerstören, kann größere Gebäude und kleine Waldflächen zerstören	Länge ~ 1-2 km, Volumen < 100 000 m <sup>3</sup>
Große 5	sehr große Lawine	erreicht den Talboden, größte bekannte Lawine	kann die Landschaft verwüsten, katastrophales Zerstörungspotenzial möglich	Länge ~ 3 km, Volumen > 100 000 m <sup>3</sup>

Abbildung 38: Größenklassifikation von Lawinen (Lawinenwarndienst Tirol, 2013)

## 2 Methodik

Um die in weiterer Folge angeführten Einschränkungen und Vorteile der diversen Lawinendetektionsapplikationen besser verstehen zu können, ist es wichtig, über die Areale an sich und die Position der Anlagen in diesen Bescheid zu wissen. Ursprünglich wurden für diese Arbeit folgende Standorte festgelegt: Gonda/Giarsun – Schweiz (Abbildung 39), Ischgl – Tirol (Abbildung 43) und St. Anton am Arlberg – Tirol. Leider musste St. Anton am Arlberg aufgrund fehlender Lawinervalidierungen sowie nicht nachvollziehbarer Änderungen an der Detektionsanlage, welche eine wissenschaftliche Auswertung der Ergebnisse unmöglich machte, aus dem Umfang dieser Arbeit ausgeschlossen werden.

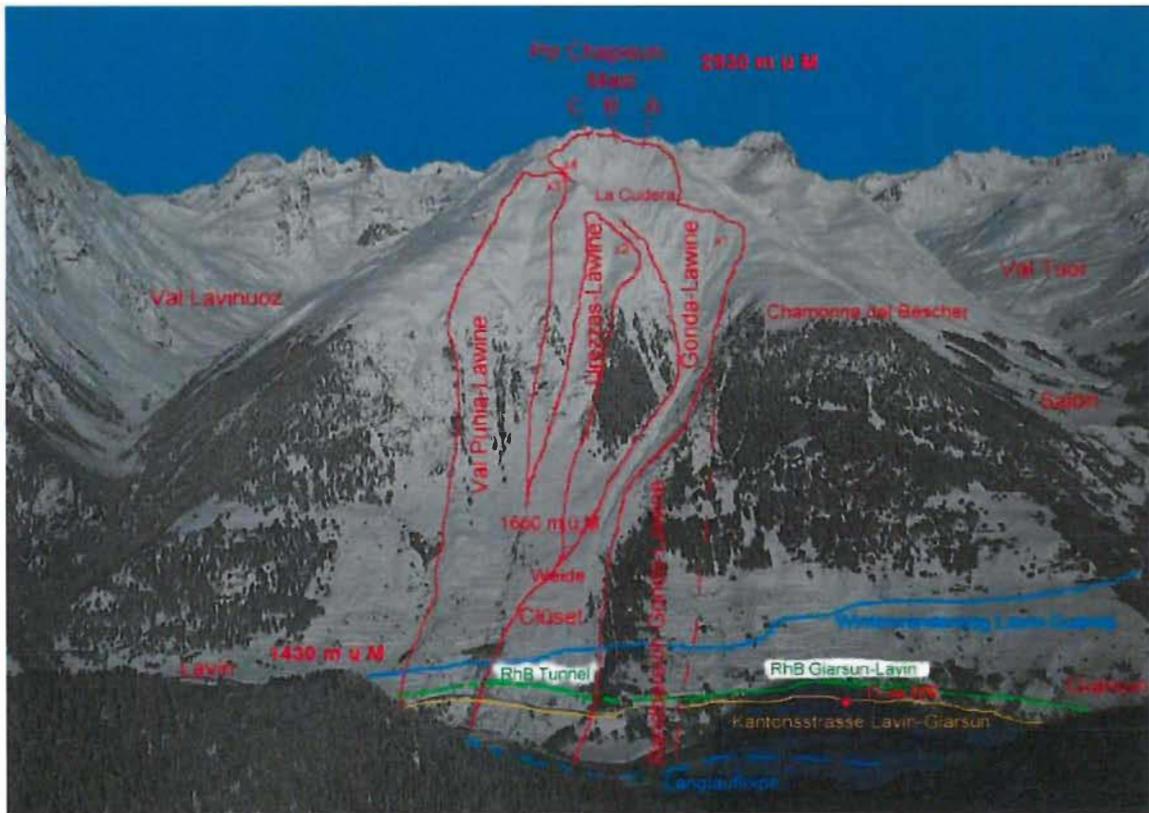


Abbildung 39: Übersichtsskizze Gonda – Lawinen (aus Kindschi, s.a.)

Die „Gonda – Lawinen“ gliedern sich in drei Lawinenzüge, welche Val Punia, Urezzas und eben Gonda genannt werden. Diese gefährden die Eisenbahntrasse, die Kantonstraße zwischen Lavin und Giarsun, die Langlaufloipe und einen Winterwanderweg. Da die großen Anrissgebiete ca. 1500 Meter über der Talsohle liegen, sind sie nur bei optimalen Bedingungen einsehbar. Zur künstlichen Lawinenauslösung stehen 8 Lawinenmasten zur Verfügung. Der Erfolg der Sprengungen kann mit drei Lawinendetektionsanlagen (ARFANG,

UHU, AlpuG) überprüft werden. Das System ARFANG ist in der im rechten unteren Eck der Abbildung 39 ersichtlichen Gemeinde Garsun stationiert und wird über die in der Nähe befindliche Kläranlage mit Strom und WLAN versorgt. Die Zentraleinheit der Lawinendetektionsapplikation UHU befindet sich ebenfalls in Garsun, die einzelnen Sensoren sind jedoch am Gegenhang (God da Zezina) der in der Abbildung 39 ersichtlichen Lawinenzüge positioniert (Abbildung 40). In unmittelbarer Nähe der Lawinenzüge ist lediglich das System AlpuG platziert, wie man der Abbildung 41 entnehmen kann (vgl. Lussi et al., 2012)

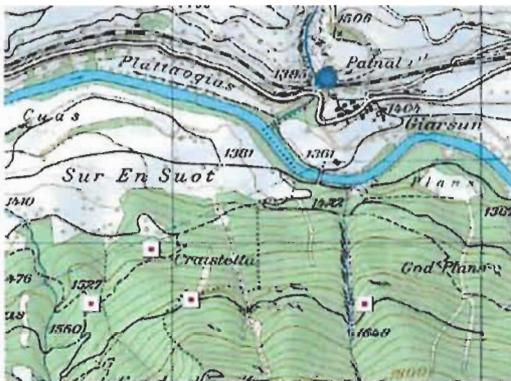


Abbildung 40: UHU - Position der Zentraleinheit (blauer Punkt) sowie der einzelnen Sensoren (rote Punkte) (aus Lussi et al., 2012)

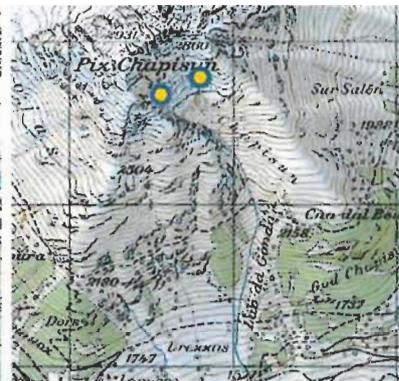


Abbildung 41: AlpuG – Position der beiden Geophone (aus Lussi et al., 2012)

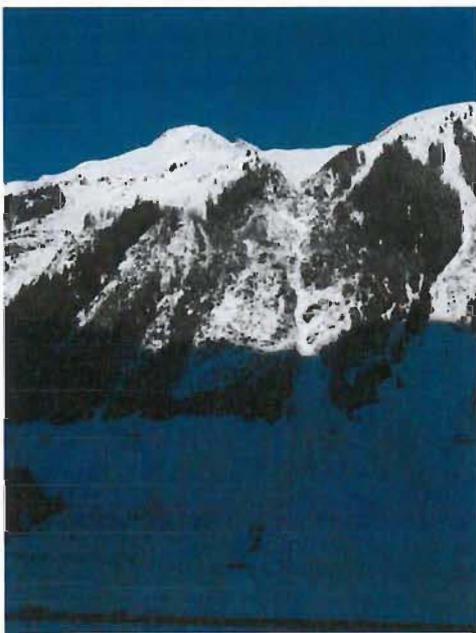


Abbildung 42: Großstallawine Ischgl



Abbildung 43: Anbruchkessel der Großstallawine (H&S Hochfrequenztechnik GmbH, s.a.b)

Diese Arbeit wird sich am Standort Ischgl im Prinzip ausschließlich auf den Lawinenzug Großtal beziehen, wobei auch positiv validierte Detektionen benachbarter Lawinenzüge Erwähnung finden werden.

Die Großtallawine gefährdet die Paznauntalstraße B188, deren Sperre jeweils große wirtschaftliche Folgen für die Region mit sich zieht sowie eine lokale Straße, einen Feldweg und in besonders extremen Situationen auch die Ränder der Gemeinde Ischgl. Deshalb wurden im Anbruchskessel der Großtallawine, welcher eine Fläche von ca. 16 Hektar aufweist, 5 Sprengmasten installiert. Der Erfolg der Sprengungen bzw. etwaige spontane Lawinenabgänge können mittels zweier am Gegenhang positionierter Lawinendetektionsanlagen (IDA, Lawinenradar) validiert werden. Das Radar befindet sich direkt neben dem Tennisplatz, welcher optimale Versorgung mit Strom und einem mobilen Netzwerk garantiert. Die Distanz zwischen dem Anbruchgebiet und der Position des Radars beträgt 1.800 Meter (Abbildung 44) (vgl. Kogelnig, 2012a; vgl. Kogelnig, 2012b).

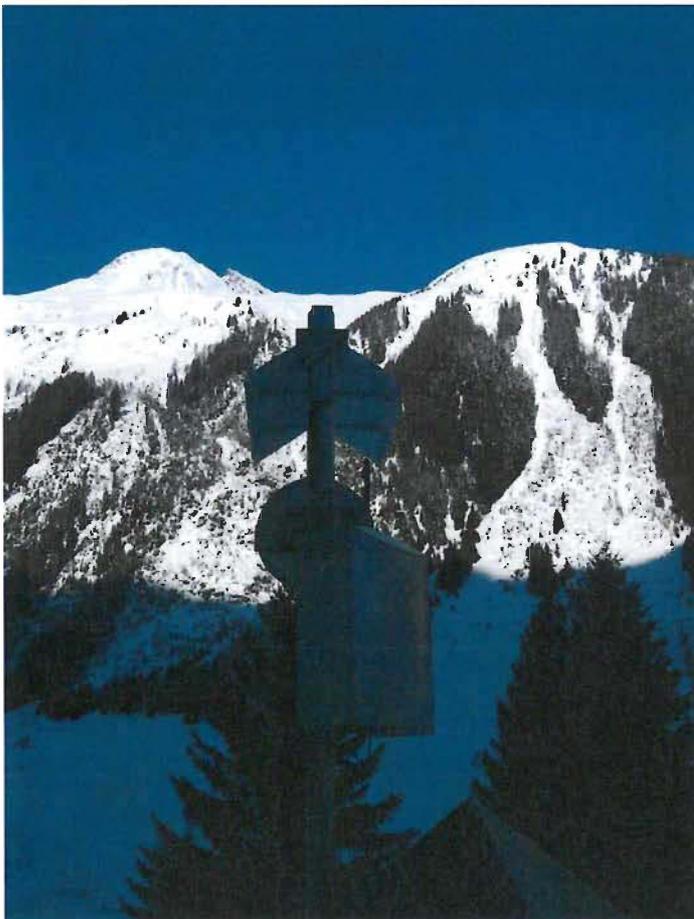


Abbildung 44: Ausrichtung des Lawinenradars in Richtung Großtallawine

## 2.1 Analyse & Interpretation der Ergebnisse diverser Lawinendetektionsanlagen

Wie bereits in der Einleitung vermerkt, besteht die Analyse & Interpretation der Ergebnisse diverser Lawinendetektionsanlagen aus einer Fortführung des SLF – Schlussberichtes für das Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) zur Beurteilung eventueller Verbesserungen an den verschiedenen Systemen sowie einer Detailanalyse der Detektionsergebnisse, um aus diesen weitere Informationen hinsichtlich Lawinengröße, Lawinenart, etc. ableiten zu können. Da die in dieser Arbeit untersuchten Systeme alle mittels einer unterschiedlichen Methodik ausgewertet werden mussten, wird in der weiteren Folge die jeweilige Methodik in Abhängigkeit des Systems beschrieben.

Allen Systemen gleich ist jedoch der dem SLF – Schlussbericht (Lussi et al., 2012) sowie dem Zwischenbericht (Meier und Lussi, 2011) des Projektes Lawinendetektion zugrundegelegte Begriff „RAMS“. Der Begriff bzw. dessen Definition stammt aus der DIN Norm EN 50126 und wird speziell bei Sicherheitssystemen in Gebrauch genommen. „RAMS“ steht dabei für die englischen Begriffe **R**eliability, **A**vailability, **M**aintainability und **S**afety, welche übersetzt Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit bedeuten. Im SLF – Schlussbericht wurden die einzelnen Systeme hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit gewertet, weshalb sich auch die Teile dieser Arbeit, welche damit in Zusammenhang stehen, nach den erwähnten beiden Termini richten werden (vgl. Lussi et al., 2012; vgl. Meier und Lussi, 2011).

Die Verfügbarkeit der einzelnen Systeme konnte im Zuge dieser Arbeit nicht persönlich überprüft werden, weshalb in diesem Kontext auf den Kurzbericht 2012/2013 von Marcel Schoch (Schoch, 2013) sowie die Angaben der Firmen H&S Hochfrequenztechnik GmbH und Item Geophysics zurückgegriffen wird.

Sämtliche Auswertungen basieren auf einer gewählten Lawinensaison von 1. November bis 15. Mai des jeweiligen Winters.

### 2.1.1 Datenmaterial

Sämtliches Datenmaterial für den Standort Gonda wurde dem Autor vom SLF kostenlos zur Verfügung gestellt, wodurch ein Großteil dieser Arbeit erst möglich wurde.

Bei den Rohdaten des ARFANGs handelt es sich um sogenannte .wav – Files, wobei eine Datei jeweils 60 Minuten an Aufzeichnungen beinhaltet. Die Files beginnen und enden immer zur vollen Stunde und wurden mit einer Abtastrate von 80Hz aufgezeichnet (vgl. Meier und Lussi, 2010).

Die Rohdaten des UHUs, bei welchen es sich um .gz – Files handelt, konnten aufgrund fehlender MATLAB – Skripts sowie Analysesoftware leider nicht ausgewertet werden. Deshalb wurden die automatisch generierten Plots verwendet, welche wiederum 60 Minuten an Aufzeichnungen beinhalten und jeweils zu vollen Stunden beginnen und enden.

Zur Auswertung des Systems AlpuG stand für jedes Geophon ein .dat – File zur Verfügung, welches jeweils zahlreiche Daten im ASCII – Format beinhaltete. Dabei bildete jede Zeile ein Ereignis und die Spalten gaben Informationen zum mV – Verlauf, Pulsverlauf, Pulsmittel, etc. preis.

Das Datenmaterial am Standort Ischgl wurde dem Autor von den jeweiligen Firmen, H&S Hochfrequenztechnik GmbH und Item Geophysics, zur Verfügung gestellt. Auch hier sei erwähnt, dass ohne deren Kooperation ein Großteil dieser Arbeit unmöglich gewesen wäre.

Bei den Rohdaten des IDAs handelt es sich um sogenannte .mat – Files. Nachdem der Autor die Zeiträume, welche er für die Analyse benötigte, festgelegt hatte (z.B.: 10.12.2012 / 10:16 – 10:26), wurden ihm die Rohdaten entsprechend seiner Angaben übermittelt. Die Rohdaten waren daher alle von unterschiedlicher Größe und wurden mit einer Abtastrate von 100Hz aufgezeichnet (vgl. Olivieri et al., 2011).

Die Rohdaten des Lawinenradars wurden im Internet für die Zeiträume, in welchen ein Radaralarm ausgelöst wurde, publiziert und konnten über einen Link heruntergeladen werden. Es handelt sich dabei um sogenannte .rrd – Files. Diese Daten haben Längen von 60-61 Sekunden, jedoch keine regelmäßigen Beginn- oder Endzeiten, da diese alarmbedingt sind.

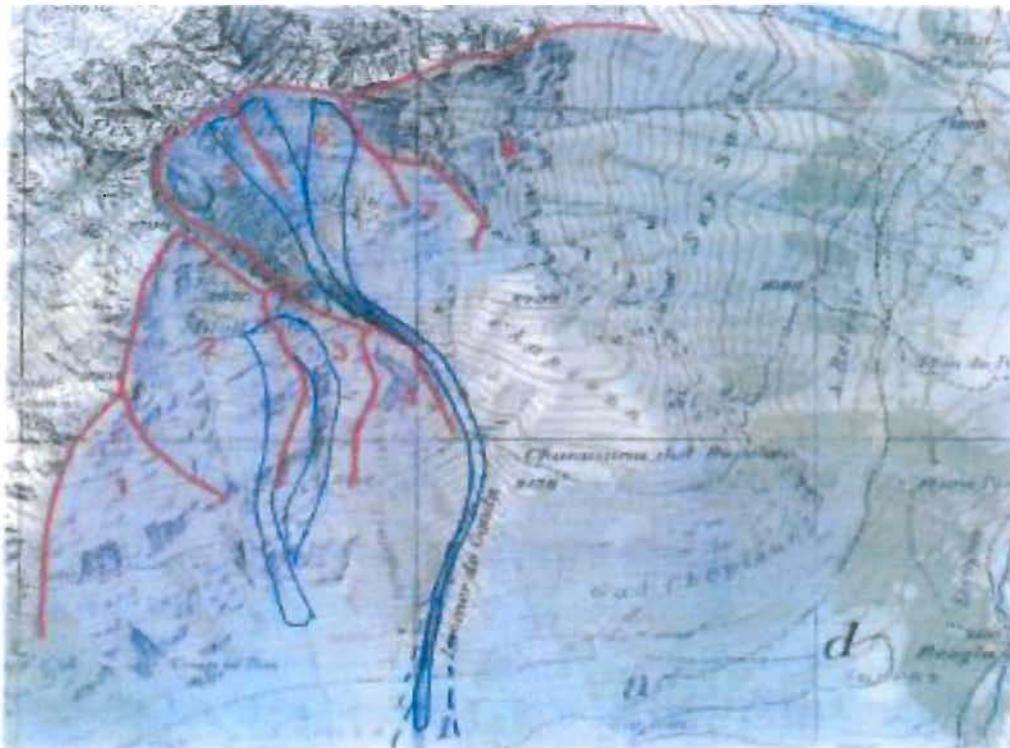
### 2.1.2 ARFANG (Infrasound)

Um mit der Analyse beginnen zu können, wurden sämtliche Ereignisse, welche vom ARFANG im jeweiligen Lawinenwinter erfasst wurden, dokumentiert. Diese dokumentierten Ereignisse wurden anschließend mittels von Peder Caviezel oder Curdin Egler ausgefüllten Meldeformularen (Abbildung 45) oder Sprengprotokollen (Abbildung 46) validiert sowie einer genauen Datenanalyse durch das Programm ARFANG (Abbildung 47) unterzogen.

Meldeformular Lawinendetektion Garsun

Melder (Name) Caviezel Peder

Datum / Zeit:	<u>23.12.2012</u>		<u>04:55 - 05:10</u>					
Anriss (m.d.M)	Aurelauf (m.d.M)							
Breite [m]								
Sektor	1	<u>2</u>	3	4	<u>5</u>	<u>6</u>	7	8
Grösse	Rutsch		Klein		<u>Mittel</u>		gross	
Klassifikation	<u>Schneebrett</u>		Lockerschnee		<u>Trocken</u>		Gemischt (nass/trocken)	
Auslöseart	<u>Künstlich</u>		Spontan		Person		Anders	
Detektion durch ARFANG			Ja				<u>Nein</u>	



Staubanteil bis über Kantonsstrasse

Abbildung 45: Meldeformular zur Gonda Lawine, Unterengadin, Schweiz - Peder Caviezel (2012)

21.12  
04<sup>45</sup> - 05<sup>20</sup>

**Sprenginsatz Gonda**

Mast	A	B	C	D	E	F	G	H
Verbindung (Anlauf)	10	10	10	10	10	10	10	10
Batterie	12,62	12,56	12,52 12,51	12,64	12,31	12,62	12,16	12,5
Amperedif	0,86	1,57 1,25	1,1	1,56	1,76	1,79	1,23	1,33
Temperatur	-8,19	-8,32	-8,25 -7,31	-8,04	-7,91	-8,13	-7,31	-6,74
Ladungsnr.	2	2	2	2	2	2	2	2
Winkel° Drehkranz		57					56	57
	05 01 30	05 04 40 (938) ✓	05 03 30 (940) ✓	05 05 34	05 07 05 (941) ✓	05 09 00	05 08 30 (939) ✓	05 10 30 ✓
Zusch.	10	10 Länge	10 Länge	10	10 Länge	10	10 Länge	10 Länge
Bemerkungen								

Abbildung 46: Sprengprotokoll zur Gonda Lawine, Unterengadin, Schweiz - Peder Caviezel (2012). Unter Bemerkungen (letzte Zeile) wurden während der Sprengungen erfasste Lawinenabgänge notiert.

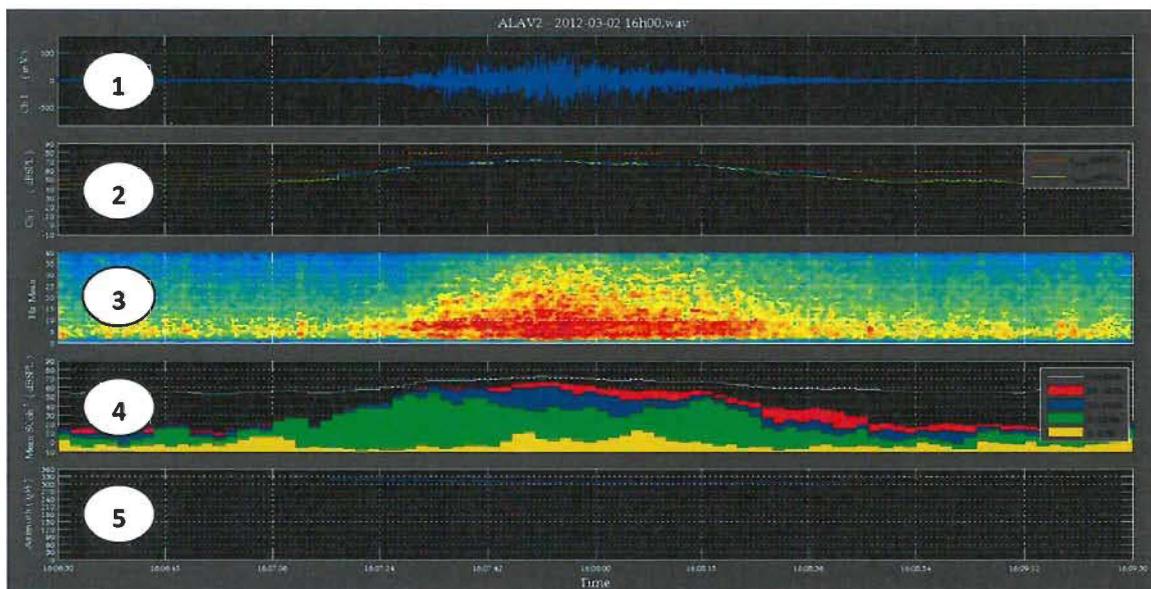


Abbildung 47: ARFANG – Plot für eine Lawine. Parameter 1: Wellenform des Infrasoundsignals, Parameter 2: Schalldruckpegel (frequenzunabhängig) des Infrasoundsignals, Parameter 3: Laufendes Spektrum des Infrasoundsignals, Parameter 4: Schalldruckpegel (frequenzabhängig) des Infrasoundsignals, Parameter 5: Azimuth des Infrasoundsignals

Mittels des Programmes ARFANG konnten die Rohdaten über zahlreiche Parameter analysiert werden, wovon in dieser Arbeit für die Einteilung der Ereignisse in die Kategorien bestätigter Lawinenabgang, unsicherer Lawinenabgang, Fehldetektion und nicht erfasster

Lawinenabgang, wie in Tabelle 1/ANHANG ersichtlich, die in Abbildung 47 dargestellten 5 Parameter verwendet wurden.

Ergaben sich Schwierigkeiten bei der Einordnung, indem sich die vorhandenen Informationen widersprachen, so wurde analog dem SLF – Schlussbericht anhand der Plausibilität der Daten entschieden. (vgl. Lussi et al., 2012)

Um einen bestätigten Lawinenabgang handelt es sich, wenn die Lawine sowohl in den Sprengprotokollen oder Meldeformularen als auch in den Rohdaten wieder zu finden ist. Das Gegenteil stellt der nicht erfasste Lawinenabgang dar, welcher zwar auf den Sprengprotokollen oder Meldeformularen vermerkt wurde, jedoch aus den Rohdaten nicht visualisiert werden konnte. Unsichere Lawinenabgänge sind zwar auf den Sprengprotokollen oder Meldeformularen nicht vermerkt, jedoch könnte das aufgezeichnete Signal eine eventuell nicht validierte Lawine darstellen. Deshalb wurde diese Kategorie nochmals in die beiden Unterkategorien „möglich“ und „unwahrscheinlich“ eingeteilt, indem das Wettergeschehen der letzten 10 Tage vor dem Ereignis hinsichtlich Neuschneehöhe, Lufttemperatur, Schneeoberflächentemperatur und Windgeschwindigkeit betrachtet wurde. Wie unsichere Lawinenabgänge sind auch Fehldetektionen weder in den Sprengprotokollen noch in den Meldeformularen als Ereignis vermerkt, jedoch lassen sich diese anhand einer genauen Datenanalyse ausschließen. Die Ausschließungskriterien beziehen sich dabei auf die zuvor erwähnten Parameter und werden im Folgenden kurz erklärt.

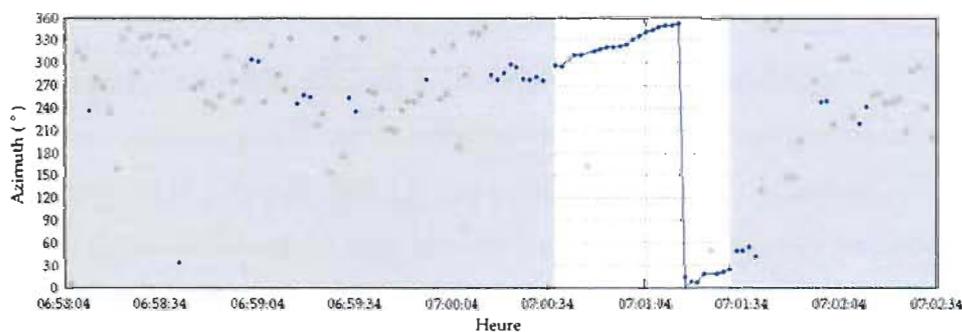


Abbildung 47: Steigender Azimuth & außerhalb Azimuthbandbreite – ARFANG

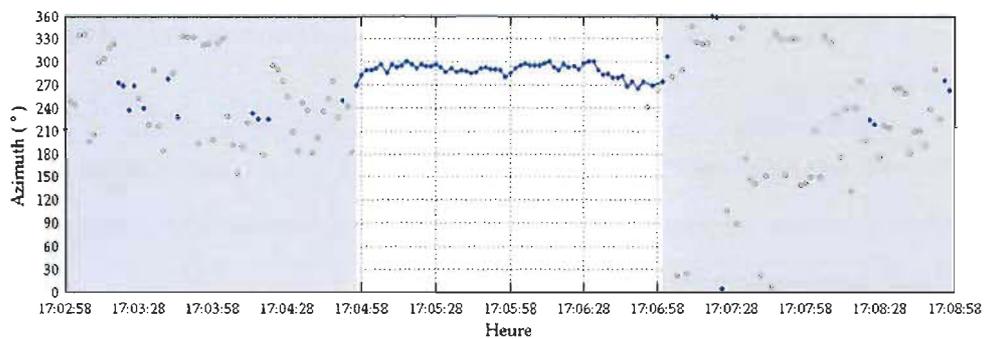


Abbildung 48: Stark schwankender Azimuth – ARFANG

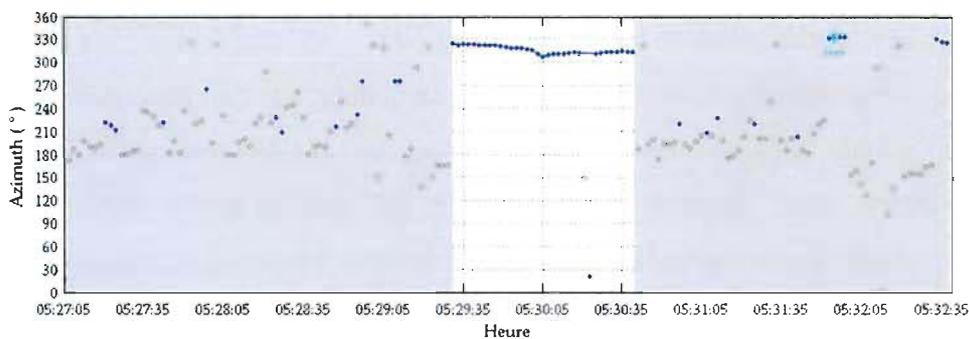
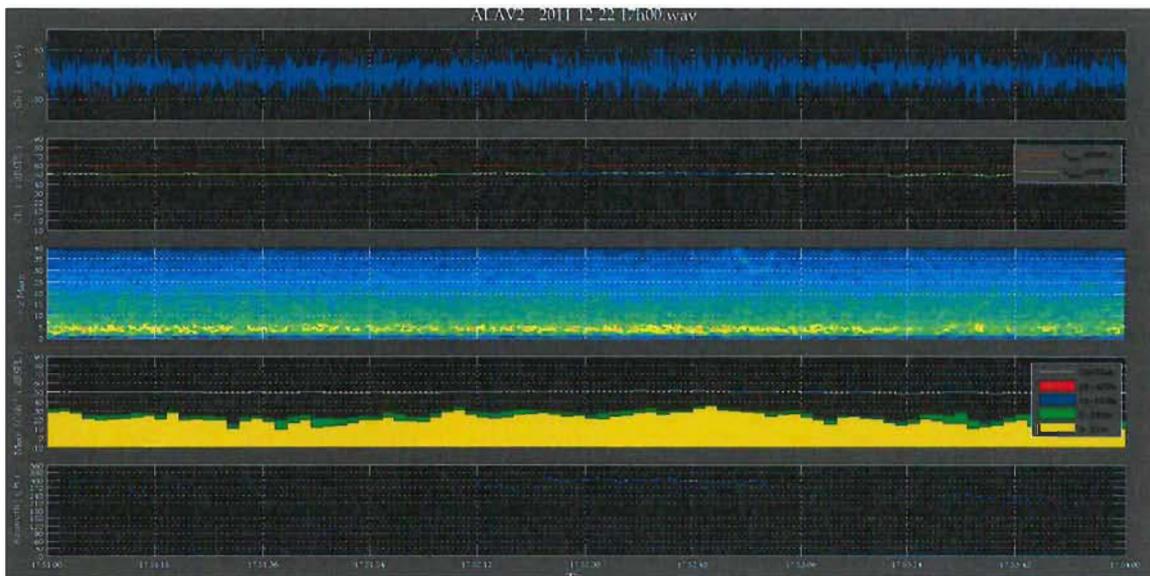


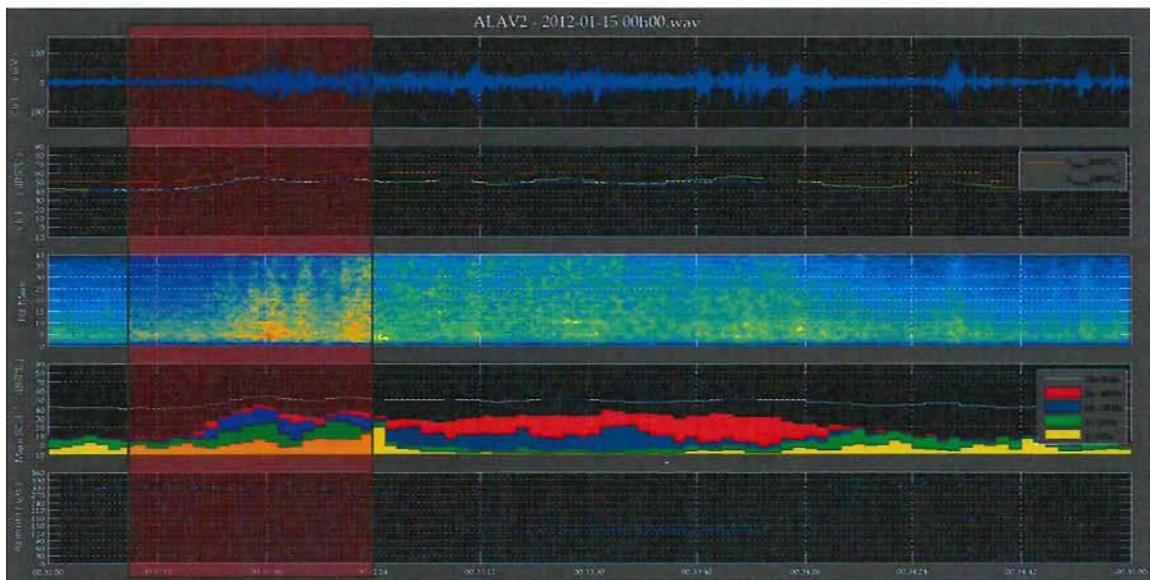
Abbildung 49: Azimuthverlauf einer Lawine - ARFANG

Mit Hilfe des Azimuthes (Richtungswinkel - Horizontalwinkel) können vielfach Fehldetektionen von möglichen Lawinenabgängen unterschieden werden. Dies erkannte bereits Curdin Kindschi, welcher in seiner Maturarbeit vermerkte, dass es sich bei ansteigendem Azimuthverlauf stets um eine Fehldetektion handeln muss, da diese ansonsten von unten nach oben fließen würde (vgl. Kindschi, 2010). Weitere Hinweise bezüglich einer Filterung der Ereignisse mit Hilfe des Azimuthes lieferte bereits der Zwischenbericht 2010/2011 des Projektes Lawinendetektion vom SLF (Meier und Lussi, 2011). Kurz zusammengefasst kann festgestellt werden, dass wenn der Azimuthverlauf steigt (Abbildung 47), sich außerhalb der Azimuthbandbreite bewegt (Abbildung 47) oder sehr stark schwankt (Abbildung 48), das detektierte Ereignis stets einer Fehldetektion entspricht. Um dies zu verdeutlichen, wurde in Abbildung 49 der Azimuthverlauf einer tatsächlich aufgetretenen Lawine hinzugefügt. Des Weiteren soll darauf hingewiesen werden, dass sich die hier angeführten Ausscheidungskriterien betreffend des Azimuthes ausschließlich auf den Standort Gonda beziehen, obwohl es mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit möglich ist, derartige Parameter an jedem Standort zu finden.



**Abbildung 50: Keine Lawine detektiert – ARFANG**

Ist in keinem der fünf Parameter ein einer Lawine entsprechendes Signal ersichtlich (Abbildung 50), so kann es sich nur um eine Fehldetektion handeln.



**Abbildung 51: Kriteriensumme ergibt Fehldetektion – ARFANG**

Es gibt jedoch auch Fehldetektionen, welche sich erst durch die Betrachtung mehrerer Kriterien und die Bildung einer „Kriteriensumme“ ausschließen lassen. Ein derartiges Beispiel ist in Abbildung 51 angeführt. Das Lawinendetektionssystem hat im rot hinterlegten Rechteck ein Ereignis detektiert. Dieses könnte bei ausschließlicher Betrachtung des rot

hinterlegten Rechteckes nicht ausgeschlossen werden. Betrachtet man aber nun das Gesamt ereignis, so erfüllt kein Parameter die Kriterien einer Lawine.

Nach der Einteilung der vom ARFANG detektierten Ereignisse in die Kategorien bestätigter Lawinenabgang, unsicherer Lawinenabgang, Fehldetektion und nicht erfasster Lawinenabgang wurden diese einer Statistik zugeführt und mit jener des SLF – Schlussberichtes vom Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) verglichen, um etwaige Verbesserungen des Systems erkennen zu können.

### 2.1.2.1 Detailanalyse der Detektionsergebnisse

Für die Detailanalyse wurden ausschließlich Ereignisse herangezogen, für welche es eine Validierung durch Peder Caviezel oder Curdin Egler gegeben hat. Diese Lawineneignisse wurden anschließend aufgrund deren Eigenheiten in Kategorien entsprechend ihrer Größe, Lawinenart und Auslauflänge eingeteilt, wie der Tabelle 8/ANHANG entnommen werden kann. Anhand dieser Einteilung wurde im Anschluss versucht, für jene Ereignisse, für welche es eine Detektion durch ARFANG gab, mittels einer Detailanalyse der Rohdaten (Abbildung 52) Muster erkennen zu können. Jene Ereignisse, welche ARFANG nicht detektiert hatte, wurden zur Definition von Systemgrenzen verwendet.

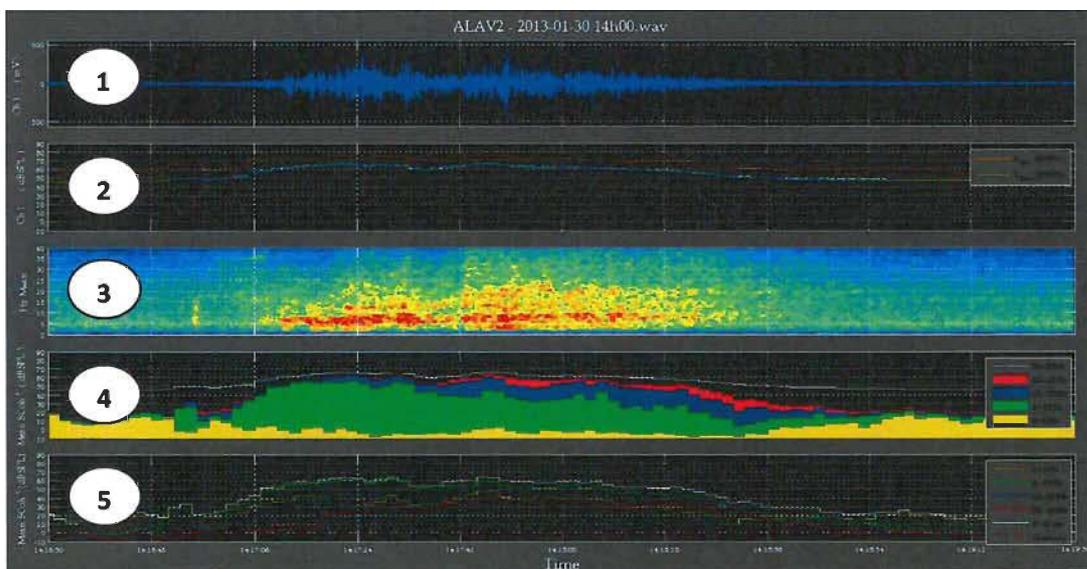
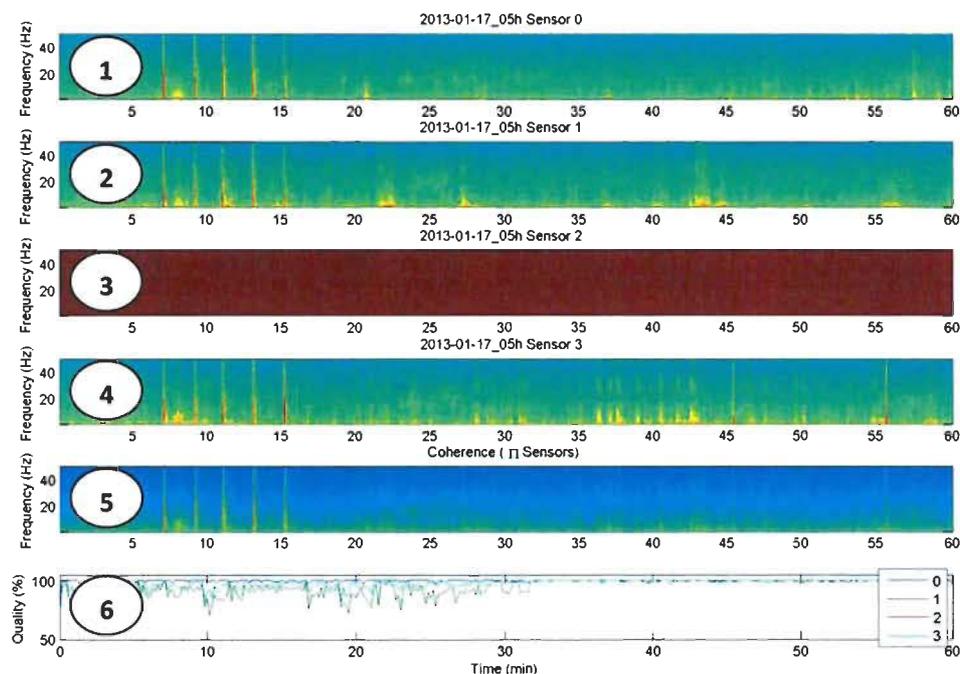


Abbildung 52: Detailanalyse einer Lawine - ARFANG. Parameter 1: Wellenform des Infrasondsignals, Parameter 2: Schalldruckpegel (frequenzunabhängig) des Infrasondsignals, Parameter 3: Laufendes Spektrum des Infrasondsignals, Parameter 4: Schalldruckpegel (frequenzabhängig) des Infrasondsignals, Parameter 5: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der diversen definierten Frequenzklassen

### 2.1.3 UHU (Infrasound)

Da das UHU keinen automatischen Datentransfer und Lawinenerkennungsalgorithmus besitzt, war eine derartig detaillierte Datenauswertung wie bei den anderen Lawinendetektionsapplikationen nicht möglich (vgl. Lussi et al., 2012). Deshalb wurde lediglich versucht, sämtliche in den Meldeformularen (Abbildung 45) und Sprengprotokollen (Abbildung 46) dokumentierten Lawinenabgänge in den automatisch generierten Plots des laufenden Spektrums (Abbildung 53) zu finden.



**Abbildung 53:** Laufendes Spektrum des Infrasoundsignals – UHU. Parameter 1-4: Laufende Spektren der Infrasoundsignale der Sensoren 1-4, Parameter 5: Kohärenz der laufenden Spektren der Infrasoundsignale 1 bis 4, Parameter 6: Batterieladezustand der Sensoren 1-4

Der wichtigste Parameter für diese Form der Auswertung ist dabei die unter Punkt 5 erwähnte Kohärenz. Das Prinzip der Kohärenz wurde bereits in Kapitel 1.2.3 bzw. mit der Abbildung 22 umfassend erklärt.

Da es bis jetzt keine Auswertung der UHU Daten gab, kann lediglich ein Vergleich zum System ARFANG angestellt werden. Des Weiteren lassen die in Abbildung 53 ersichtlichen laufenden Spektren keine Detailanalyse der Detektionsergebnisse zu, weshalb es diese Form der Auswertung für das UHU nicht geben wird.

### 2.1.4 AlpuG (Seismik)

Vor dem Beginn der Analyse wurden sämtliche von den beiden Geophonen aufgezeichneten Ereignisse mittels MATLAB entsprechend formatiert und anschließend ins Microsoft Office Excel exportiert. In einem ersten Schritt wurde analysiert, ob das aufgezeichnete Signal groß genug war, um den Trigger auszulösen. Dafür ist das Erreichen eines Schwellenwertes, welcher über eine bestimmte mV – Schwelle sowie eine bestimmten Pulszahl innerhalb von 2 Sekunden nach Erreichen dieser definiert ist, erforderlich. Ein Puls wird generiert, wenn das Signal die mV – Schwelle überschreitet. Der Analyse, ob es zu einer Triggerauslösung kam oder nicht, wurde beim Geophon West eine mV – Schwelle von 500 und eine Pulssumme von 10 und beim Geophon Ost eine mV – Schwelle von 500 und eine Pulssumme von 5 zugrundegelegt. In weiterer Folge wurde nun überprüft, ob das Ereignis, welches den Trigger verursachte, auch während der nächsten 24 Sekunden seismische Aktivität zeigte und somit einem als Lawine klassifizierten Event entspricht. Dies erfolgte durch den SMS – Schwellenwert, welcher beim Geophon West durch eine Pulssumme von 100 und beim Geophon Ost durch eine Pulssumme von 50 innerhalb von 24 Sekunden nach Auslösen des Triggers definiert ist (vgl. Gubler, 2012a; vgl. Gubler, 2012b).

Im Anschluss an diese Analyse wurden die Ereignisse wiederum mit den Meldeformularen (Abbildung 45) und Sprengprotokollen (Abbildung 46) validiert und nach entsprechenden Kategorien, analog dem SLF – Schlussbericht (Lussi et al., 2012), ausgewertet:

- Lawine: Zu diesem Zeitpunkt wurde von Peder Caviezel oder Curdin Egler eine Lawine notiert
- SMS W: Das Geophon West hat den SMS – Trigger überschritten und ein SMS versandt
- Trigger W: Das Geophon West hat den Trigger – Level überschritten und ein Event detektiert
- SMS E: Das Geophon Ost hat den SMS – Trigger überschritten und ein SMS versandt
- Trigger E: Das Geophon Ost hat den Trigger – Level überschritten und ein Event detektiert
- Fehldetektion W: Das Geophon West hat ein SMS versandt, obwohl es sich um keine Lawine handelt
- Nicht detektiert W: Das Geophon West hat eine Lawine nicht detektiert

- Fehldetektion E: Das Geophon Ost hat ein SMS versandt, obwohl es sich um keine Lawine handelt
- Nicht detektiert E: Das Geophon Ost hat eine Lawine nicht detektiert
- Nicht W&E: Weder das Geophon West, noch das Geophon Ost haben eine tatsächlich aufgetretene Lawine detektiert
- Künstlich ausgelöst: Die Lawine wurde durch einen der Sprengmasten ausgelöst

Danach wurden die in die erwähnten Kategorien eingeteilten Ereignisse einer Statistik zugeführt und mit jener vom SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion verglichen, um etwaige Verbesserungen des Systems erkennen zu können.

#### ***2.1.4.1 Detailanalyse der Detektionsergebnisse***

Für die Detailanalyse wurden wiederum ausschließlich Ereignisse herangezogen, für welche es eine Validierung durch Peder Caviezel oder Curdin Egler gegeben hat. Dabei muss abermals zwischen detektierten und nicht detektierten Lawinen unterschieden werden. Von den detektierten Lawinen wurde anschließend für jedes Geophon der mV – Verlauf, der Pulsverlauf als auch die Pulssumme visualisiert und versucht, aus diesen Graphiken Muster hinsichtlich Lawinengröße und Lawinenart ermitteln zu können. Die nicht detektierten Lawinen dienen wiederum zur Definition der Grenzen des Systems.

### 2.1.5 IDA (Infrasound)

Vor Beginn der Analyse wurden sämtliche Ereignisse, welche vom IDA im Lawinenwinter 2012/2013 im Bereich der Großtallawine erfasst wurden, dokumentiert. Diese dokumentierten Ereignisse wurden anschließend mit den von Albert Siegele ausgefüllten Meldeformularen (Abbildung 54) validiert und einer genauen Datenanalyse mittels MATLAB unterzogen. Für die Analyse in MATLAB wurden dem Autor von Arnold Kogelnig die Skripts, welche er zur Auswertung in seiner Dissertation verwendete, zur Verfügung gestellt, so dass eine Visualisierung der Wellenform des Infrasoundsignals (Abbildung 55), des laufenden Spektrums des Infrasoundsignals (Abbildung 56) und der Frequenzverteilung des Infrasoundsignals (Abbildung 57) möglich wurde.

**WYSSSEN** avalanche control

Name der Lawine	Datum	Uhrzeit
Kittauer (Küpfel m, Großtal), Birkental	23.12.2012	-weh ca 09:00

**Auslösung:** natürlich  künstlich   
**Art der Lawine:** nass  trocken   
**Fotos vorhanden:** ja  nein   
**Windstärke:** schwach  mittel  Sturm

**Bemerkungen**  
 Zweifelslos Schneefall, dann Regen bis über 2.000 m  
 02.11 und 02.12.12 Lawineneinsätze Großtal (H. Zuger)  
 Zeitpunkt der 16 ripen Alptypen nicht genau bekannt

Abbildung 54: Meldeformular Ischgl, Österreich - Albert Siegele (2012)

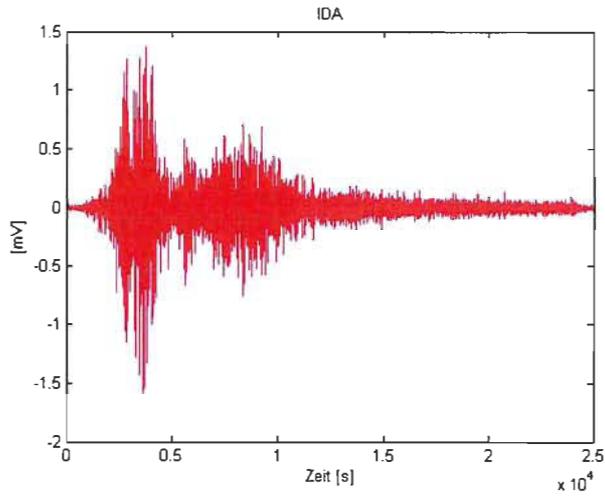


Abbildung 55: Wellenform des Infrasondsignals - IDA

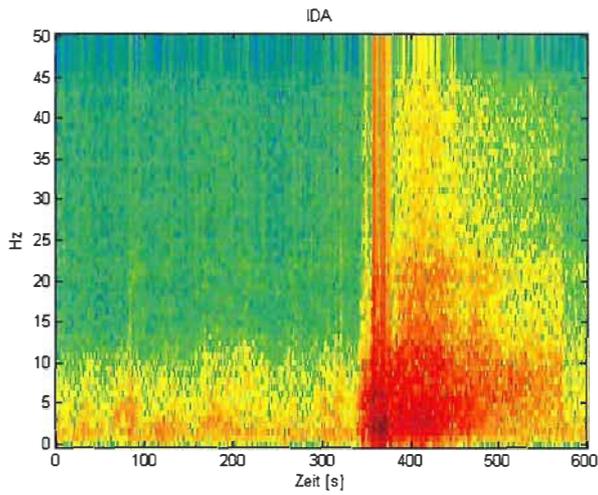


Abbildung 56: Laufendes Spektrum des Infrasondsignals - IDA

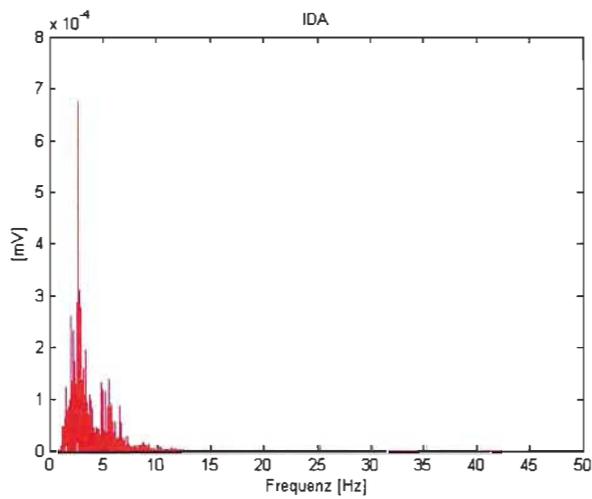


Abbildung 57: Frequenzverteilung des Infrasondsignals – IDA

Anhand der in Abbildung 55, 56 und 57 erwähnten Parameter erfolgte anschließend eine Einteilung in die Kategorien bestätigter Lawinenabgang, unsicherer Lawinenabgang, Fehldetektion und nicht erfasster Lawinenabgang. Diese Auswertung wurde zweimal durchgeführt, indem den bestätigten Lawinenabgängen einmal ausschließlich visuell validierte Ereignisse (Tabelle 5/ANHANG) und einmal visuell validierte Ereignisse plus Ereignisse, für welche ein Radaralarm ausgelöst wurde (Tabelle 6/ANHANG), zugrundegelegt wurden.

Die einzelnen Kategorien wurden bereits in Kapitel 2.1.2 ausführlich erklärt. Allerdings sei hier vermerkt, dass die Einteilung der unsicheren Lawinenabgänge in die Unterkategorien „möglich“ und „unwahrscheinlich“ ausschließlich aufgrund der drei zuvor visualisierten Parameter erfolgte, da dem Autor keine derartigen Wetterdaten wie in Gonda zur Verfügung standen.

Nach der Einteilung der vom IDA detektierten Ereignisse in die zuvor erwähnten Kategorien wurden diese einer Statistik zugeführt. Da das System IDA erst kurz vor Beginn des Winters 2012/2013 aufgestellt wurde, konnte kein Vergleich zum Vorjahr zur Erkennung etwaiger Verbesserungen angestellt werden. Deshalb wurden die Statistiken mit jenen des ARFANGS verglichen, um eine generelle Aussage treffen zu können.

#### **2.1.5.1 Detailanalyse der Detektionsergebnisse**

Für die Detailanalyse wurden wiederum ausschließlich Ereignisse herangezogen, für welche es eine Validierung durch Albert Siegele bzw. einen Radaralarm des Lawinenradars gegeben hat. Die Radaralarme wurden deshalb verwendet, da diese, wie dem SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) entnommen werden kann, eine Detektionsrate von 100% vorweisen und damit den visuell validierten Lawinen gleichzusetzen sind. Diese Lawinen wurden anschließend aufgrund ihrer Größe, Lawinenart und Auslauflänge in Kategorien eingeteilt, wie der Tabelle 10/ANHANG entnommen werden kann. Im Anschluss an diese Einteilung wurde versucht, für jene Lawinen, welche eine Detektion durch IDA vorzuweisen hatten, innerhalb der Kategorien durch eine Detailanalyse der zuvor erwähnten drei Parameter sowie einer von Emanuele Marchetti übermittelten Tabelle (siehe Kapitel 2/ANHANG), welche Angaben zu Druck, Dauer und momentaner

Geschwindigkeit der Ereignisse enthält, Muster erkennen zu können. Die nicht detektierten Ereignisse dienen abermals der Feststellung von Systemgrenzen.

### 2.1.6 Lawinenradar (Radartechnologie)

Um mit der Analyse beginnen zu können, wurden wiederum sämtliche Ereignisse, welche vom Lawinenradar im Lawinenwinter 2012/2013 erfasst wurden und zur Auslösung des Alarms führten, dokumentiert. Diese dokumentierten Ereignisse wurden, wie auch beim System IDA, mit den von Albert Siegele ausgefüllten Meldeformularen (Abbildung 54) validiert und einer genauen Datenanalyse mittels des Programmes „ProfiViewer“ unterzogen. Dazu wurde sowohl die Range – Gate – Oberfläche (Abbildung 58) als auch die Zeit – Oberfläche (Abbildung 59) des erwähnten Programmes verwendet. Da die einzelnen Achsenbezeichnungen der beiden folgenden Abbildungen nicht selbsterklärend sind, sei deren Bedeutung hier kurz erwähnt:

- Frame: Zeitlicher Horizont der Messung (vgl. Hübl et al., 2012)
- Kanal: Gemessene Geschwindigkeiten (vgl. Hübl et al., 2012)
- Amplitude: Intensität des Radarechosignals (vgl. Hübl et al., 2012)
- RG: Range – Gate oder Entfernungstor

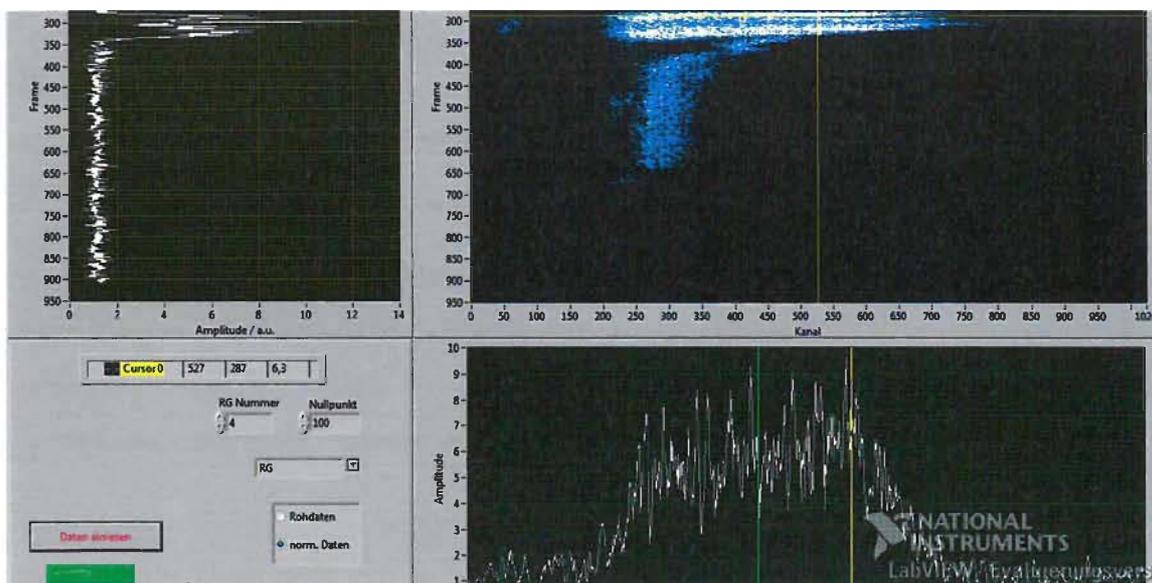


Abbildung 58: Range – Gate – Oberfläche des „ProfiViewers“ – Lawinenradar

Mit der Range – Gate Oberfläche kann jedes Entfernungstor in seinem zeitlichen Verlauf einzeln betrachtet werden. Dadurch können vor allem mehrere Lawinen, welche sich in

einem gewissen zeitlichen Abstand durch das gleiche Entfernungstor bewegten, eindeutig identifiziert werden, da diese unterschiedliche Frames aufweisen. Ein Frame bzw. ein Zeitschritt steht für eine Abtastung des Radars und somit für 1/3 Sekunde (vgl. Hübl et al., 2012).

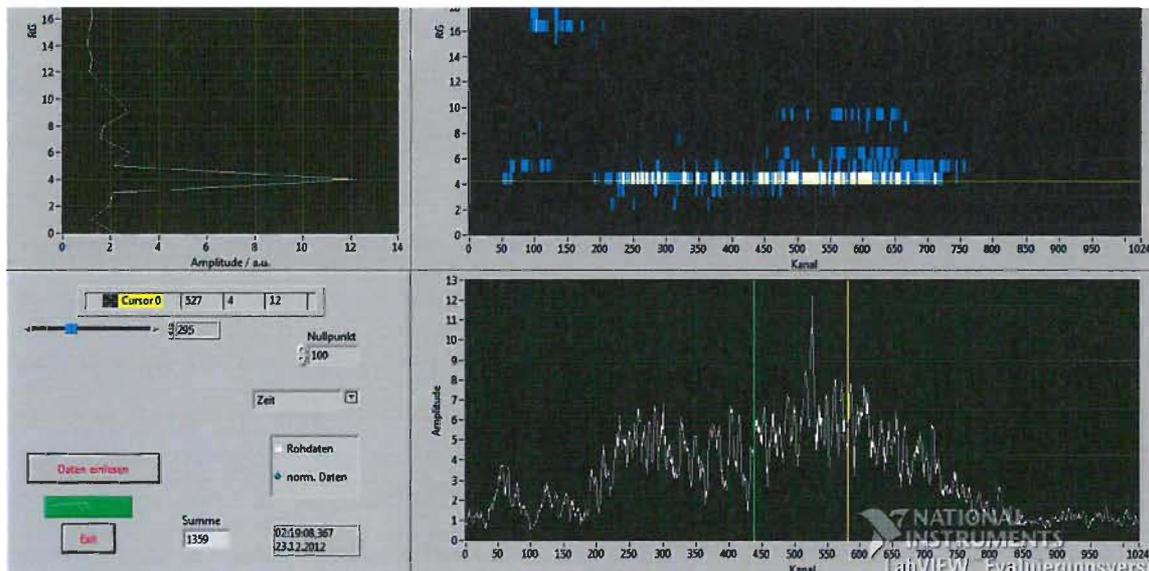


Abbildung 59: Zeit – Oberfläche des „ProfiViewers“ – Lawinenradar

Mit der Zeit – Oberfläche kann die Lawine in ihrer Range – Gate Erstreckung sowie Amplitudenstärke und Amplitudensumme für jedes Frame einzeln betrachtet werden. Dadurch lässt sich auf die Größe der Lawine schließen. Die Amplitudensumme ergibt sich durch das Integral der unter dem Graphen zwischen der grünen und gelben Linie befindlichen Fläche (rechte, untere Graphik in Abbildung 59) und wird unter der Bezeichnung „Summe“ links daneben angegeben.

Durch diese Analyse wurden die dokumentierten Ereignisse in die Kategorien bestätigter Lawinenabgang, unsicherer Lawinenabgang, Fehldetektion, nicht erfasster Lawinenabgang und künstlich ausgelöst eingeteilt. Unterkategorien bezüglich der unsicheren Lawinenabgänge gab es nicht, da sämtliche vom Radar detektierten Ereignisse zumindest als wahrscheinlich einzustufen sind.

Nach dieser Einteilung der vom Lawinenradar detektierten Ereignisse wurden diese wiederum einer Statistik zugeführt und mit jener des SLF – Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) verglichen, um etwaige Verbesserungen am System erkennen zu können.

### ***2.1.6.1 Detailanalyse der Detektionsergebnisse***

Für die Detailanalyse wurden sämtliche Ereignisse herangezogen, welche groß genug waren, um einen Radaralarm auslösen zu können. Diese Lawinenereignisse wurden anschließend aufgrund ihrer Eigenheiten in Kategorien entsprechend ihrer Größe, Lawinenart und Auslauflänge eingeteilt, wie der Tabelle 12/ANHANG entnommen werden kann. Danach wurde versucht, über eine Detailanalyse der Rohdaten mittels der zuvor erwähnten Oberflächen des „ProfiViewers“ Muster innerhalb dieser Einteilungen erkennen zu können.

## 2.2 Entwicklung eines Funktionsschemas für ein einfaches Detektionssystem

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, wurden zwei unterschiedliche Funktionsschemata, welche auf verschiedenen Technologien beruhen, entwickelt. Es erklärt sich von selbst, dass beide Funktionsschemata einer unterschiedlichen Methodik bedurften. Deshalb werden diese in weiterer Folge getrennt behandelt.

### 2.2.1 Funktionsschema hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Jedermann kennt das Phänomen, dass der Mobilfunkempfang bei Eintritt in Gebäude schlagartig schlechter wird. Unser Interesse bezog sich nun auf die Frage, ob eine derartige Abschirmung der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung auch durch den Schnee erfolgt, um daraus in Zukunft eventuell ein Lawinendetektionssystem entwickeln zu können. Deshalb haben wir eine einfache Versuchsanlage entwickelt, welche in der Abbildung 60 ersichtlich und im Absatz darunter beschrieben ist.



Abbildung 60: Versuchsanlage hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Der Versuchsaufbau bestand darin, einen Sender im Schnee zu vergraben und die Abschirmung des Schnees durch einen Hochfrequenz Analyser der Firma Gigahertz Solutions zu quantifizieren. Aufgrund dessen, dass ein DECT – Telefon in einem Frequenzband (1880 – 1900 MHz) innerhalb der Mobilfunkfrequenz sendet und relativ kostengünstig zu beschaffen war, wurde dieses als Sender verwendet. Für die Energieversorgung im Feld wurde der Netzstromstecker durch eine 12V Batterie mit nachgeschaltetem DC – DC Spannungswandler ersetzt. Um im Feld nicht durch einen Kurzschluss lahmgelegt zu werden, wurde das System zusätzlich noch mit einer Stabsicherung abgesichert.

Die anschließenden Feldversuche erfolgten am Mittwoch, den 17. April 2012 am Kitzsteinhorn und wurden vom Autor und seinem Mitbetreuer Thomas Wiesinger durchgeführt. Dabei wurden jeweils Messungen ohne DECT und ohne Schneeabschirmung, mit DECT und ohne Schneeabschirmung (Abbildung 61) sowie mit DECT und mit Schneeabschirmung (Abbildung 62) getätigt.



**Abbildung 62: Messung mit DECT ohne Schneeabschirmung**



**Abbildung 61: Messung mit DECT und mit Schneeabschirmung**

### 2.2.1.1 Technische Daten der einzelnen Komponenten der Versuchsanlage

- DECT Basisstation swissvoice AVENA 247 CH
  - 6V / 500mA / 3VA
- DC/DC Converter KEMO M015N
  - Eingangsspannungsbereich: 6-28V/DC
  - Ausgangsspannungsbereich: 3-15V/DC
- Wartungsfreier Blei – Akku
  - 12 V / 7Ah
- G – Sicherung / Feinsicherung ESKA 20x5mm
  - 1,6 A / 250V
- Hochfrequenz Analyser Gigahertz Solutions
  - HF 38B mit Richtantenne

## 2.2.2 Funktionsschema hörbarer Schall

Bei zahlreichen Lawinenkursen wird gelehrt, dass man im Falle einer Verschüttung zwar die Schritte der Retter am Lawinenkegel hören kann, diese aber ein Schreien innerhalb der Schneedecke kaum wahrnehmen können. Dieses Phänomen wollten wir uns zu Nutze machen und testen, ob mit einfachen Mitteln Schall, welcher an der Oberfläche erzeugt wird, innerhalb der Schneedecke gemessen werden kann, um daraus in Zukunft eventuell ein kostengünstiges Detektionssystem entwickeln zu können. Auch hier erfolgte der Aufbau einer einfachen Versuchsanlage, welche in Abbildung 63 und 64 ersichtlich und im Absatz darunter beschrieben ist.



Abbildung 63: Mikrofon für hörbaren Schall

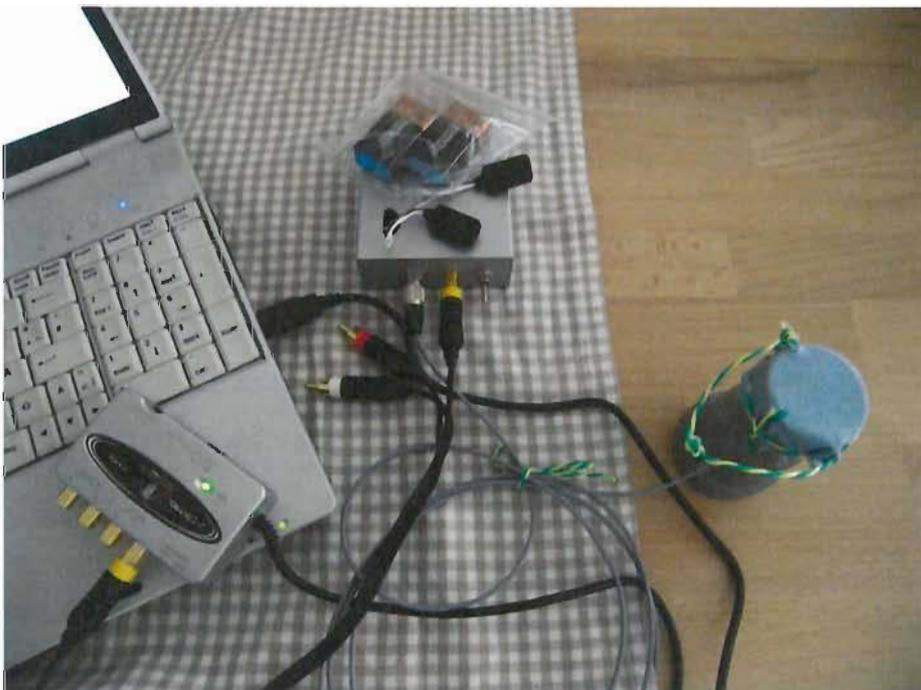


Abbildung 64: Versuchsanlage hörbarer Schall

Der Versuchsaufbau bestand darin, mittels im Schnee vergrabener Mikrofone an der Oberfläche erzeugte Geräusche durch eine geeignete Hard- und Software feststellen zu können. Dabei lag das Augenmerk auf einer rein qualitativen Aussage. Quantitative Auswertungen wurden nicht vorgenommen. Die Versuchsanlage (Abbildung 64) bestand aus diversen Mikrofonen, einem Mikrofonvorverstärker, einer externen Soundkarte sowie dem Softwareprogramm „Carma3.0“, welches eigentlich zur Erkennung von Brummtönen bei Audioanlagen eingesetzt wird. Die Mikrofone wurden aus kurzen Polyethylenrohren, welche am unteren Ende durch einen Rohrpfropfen verschlossen waren, sowie Elektret – Mikrofonkapseln (Abbildung 63), welche weniger als fünf Euro pro Stück kosteten und einem fuselfreien Stoff zur Abdeckung hergestellt. Der Aufbau des Mikrofons orientierte sich dabei größtenteils an einer von Karl Heinz Kopp entwickelten Bauanleitung für Infraschallmikrofone (vgl. Kopp, 2004). Die Verbindung zum Mikrofonvorverstärker erfolgte durch für Mikrofone handelsübliche Kabel und Stecker. Der Mikrofonvorverstärker wurde wiederum nach einer Bauanleitung von Karl Heinz Kopp (Kopp, 2006) aufgebaut und ist für akustische Messungen im Frequenzbereich von 1 Hz bis ca. 20.000 Hz geeignet. Des Weiteren kann die Verstärkung mit einem dreifach verstellbaren DIL – Schalter eingestellt werden, wobei zwischen 40, 50 und 60dB gewählt werden kann. Der Mikrofonvorverstärker, welcher seine Energieversorgung aus zwei 9Volt Blockbatterien zieht, wurde mit der externen Soundkarte über ein Chinch – Kabel verbunden. Die Übertragung zwischen externer Soundkarte und PC funktionierte mittels eines USB – Anschlusses.

Um die Versuchsanlage reproduzierbar zu halten, wird dieser Arbeit im Anhang die oben erwähnte Bauanleitung für den Mikrofonvorverstärker beigelegt.

Die anschließenden Feldversuche erfolgten analog dem zuvor erwähnten Funktionsschema am Mittwoch, den 17. April 2012 am Kitzsteinhorn und wurden vom Autor und seinem Mitbetreuer Thomas Wiesinger durchgeführt. Dabei wurden Mikrofone in unterschiedlichen Tiefen vergraben (Abbildung 65) und versucht, die durch das Gehen auf der Schneedecke sowie durch kleine künstlich ausgelöste Schneerutsche (Abbildung 66) verursachten Geräusche in den Mikrofonaufzeichnungen nachverfolgen zu können.



Abbildung 65: Vergrabenes Mikrofon am Ende der Schispur zur Detektion von hörbarem Schall



Abbildung 66: Vergrabenes Mikrofon nach künstlich ausgelöstem Schneerutsch

### 2.2.2.1 Technische Daten der einzelnen Komponenten der Versuchsanlage

- Elektret – Mikrofonkapsel EM4
  - Betriebsspannung 1,5 – 12 V/DC – 70dB
  - Frequenzbereich: 20 – 18.000 Hz
- Mikrofonvorverstärker (Kopp, 2006)
  - Frequenzbereich: 1 – 20.000Hz
  - Verstärkereinstellungen: 40,50,60dB
  - Stromversorgung: 2 Volt Blockbatterien
- Audio Interface Behringer U-Control UCA 202
  - 2 Ein-, 2 Ausgänge
- Audionet Carma 3.0
  - Vermessungsprogramm für Stereo- und Soundanlagen

### 3 Ergebnisse

Um die Übersichtlichkeit in diesem Kapitel zu erhalten, werden in einem ersten Schritt sämtliche Lawinendetektionssysteme den Ergebnissen des SLF – Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) gegenüber gestellt, um daraus eventuelle Verbesserungen an den Anlagen erkennen zu können. Im Anschluss an diese Auswertung erfolgt die Detailanalyse der Rohdaten der diversen Lawinendetektionsapplikationen bevor die Ergebnisse der Feldversuche für die beiden Funktionsschema publiziert werden. Somit erfolgt eine Einteilung in drei Kapitel, welche wiederum Unterkapitel entsprechend der diversen Systeme vorweisen.

Zum Beginn sei aber ein kurzer Überblick über die von Peder Caviezel, Curdin Egler und Albert Siegele validierten Lawinen gegeben.

**Tabelle 1: Validierte Lawinen 2011/2012 – Gonda. Die angeführten Sprengprotokolle und Meldeformulare sind beispielhaft in Abbildung 45 (Seite 57) und 46 (Seite 58) ersichtlich.**

Nr.	Datum	Vermerkte Abgänge Sprengprotokolle	Vermerkte Abgänge Meldungsformulare	
			Anzahl	Typ
1	8.12.2011	0	3	künstlich oder spontan
2	22.12.2011	1	-	Künstlich
3	23.12.2011	7	8	Künstlich
4	31.12.2011 morgens	3	-	Künstlich
6	5.1.2012	5	4	Künstlich
7	6.1.2012 morgens	2	2	Künstlich
8	6.1.2012 abends	5	5	Künstlich
9	8.1.2012 morgens	3	4	Künstlich
10	8.1.2012 abends	6	6	Künstlich
11	20.1.2012	1	3	künstlich und spontan
12	21.1.2012 morgens	5	5	Künstlich
13	21.1.2012 abends	5	6	künstlich und spontan
14	22.1.2012	1	2	Künstlich
15	25.1.2012	5	2	künstlich und spontan
16	16.2.2012	4	-	Künstlich
17	2.3.2012 nachmittags	-	3	Spontan
18	2.3.2012 abends	8	8	Künstlich

Die Tabelle 1 unterscheidet sich von jener im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) leicht, da im Bericht vom SLF zwischen 8.12.2011 und 8.1.2012 (abends) Meldeformulare keine Berücksichtigung fanden. Des Weiteren wurde in

der Tabelle vom SLF am 1.1.2012 eine Lawine vermerkt, welche aber weder in den Sprengprotokollen, noch in den Meldeformularen Erwähnung fand.

**Tabelle 2: Validierte Lawinen 2012/2013 - Gonda**

Nr.	Datum	Vermerkte Abgänge Sprengprotokolle	Vermerkte Abgänge Meldungsformulare	
			Anzahl	Typ
1	11.12.2012	1	-	Künstlich
2	23.12.2012	-	3	Künstlich
3	28.12.2012	-	2	Künstlich
4	17.1.2013	2	-	Künstlich
5	30.1.2013	-	3	Spontan
6	4.2.2013	2	2	Künstlich
7	15.4.2013 mittags	-	1	Spontan
8	15.4.2013 nachmittags	-	1	Spontan
9	16.4.2013 mittags	-	1	Spontan
10	16.4.2013 nachmittags	-	1	Spontan

**Tabelle 3: Validierte Lawinen 2012/2013 – Ischgl (Großtal)**

Nr.	Datum	Radaralarm	Vermerkte Abgänge Meldungsformulare	
			Anzahl	Typ
1	10.12.2012	2	2	künstlich
2	15.12.2012	-	1	künstlich
3	23.12.2012	2	1	natürlich
4	23.12.2012	1	1	künstlich
5	28.12.2012	3	1	künstlich
6	20.01.2013	1	0	künstlich
7	02.02.2013	1	0	künstlich
8	04.02.2013	1	0	natürlich
9	05.02.2013	1	0	künstlich
10	11.03.2013	1	1	Natürlich

**Tabelle 4: Validierte Lawinen 2012/2013 – Ischgl (Außerhalb Großtal)**

Nr.	Datum	Vermerkte Abgänge Meldungsformulare	
		Anzahl	Typ
1	23.12.2012	3	natürlich
2	06.02.2013	1	natürlich

## 3.1 Weiterführung des SLF – Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion und Vergleich der Ergebnisse

### 3.1.1 ARFANG (Infrasound)

Aufgrund dessen, dass die Ereignisanzahl im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) nicht nachvollziehbar war, wurde der Lawinenwinter 2011/2012 nochmals ausgewertet und auch dieser dem Bericht des SLFs gegenüber gestellt.

Generell muss die Summe aus nicht erfassten und bestätigten detektierten Lawinenabgängen in einem Lawinenwinter jeweils der Summe an Ereignissen in den Tabellen 1 bis 4, wobei bei gleichzeitigem Vermerk in Sprengprotokoll und Meldeformular jeweils die höhere Zahl gilt, entsprechen. Als Beispiel sei hier der Lawinenwinter 2011/2012 in Gonda angeführt:

Summe der Ereignisse laut Tabelle 1: 73

Summe der bestätigten detektierten Lawinenabgänge und nicht erfassten Lawinenabgänge laut Tabelle 5: 71

Summe der bestätigten detektierten Lawinenabgänge und nicht erfassten Lawinenabgänge laut SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (vgl. Lussi et al., 2012): 50

Geringfügige Unterschiede können sich durch von Peder Caviezel in den Sprengprotokollen oder Meldeformularen validierte Spontanabgänge, für welche er ein vermutliches Auslösedatum angegeben hat, welche aber anschließend nicht als bestätigt sondern als wahrscheinlich gewertet wurden, ergeben.

Der Unterschied von 23 Ereignissen im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (vgl. Lussi et al., 2012) konnte vom Autor jedoch nicht rekonstruiert werden.

Zu Beginn wird ein Vergleich der Lawinenaktivität (Tabellen 5-6) zwischen dem Lawinenwinter 2011/2012 und dem Lawinenwinter 2012/2013 angestellt, um in weiterer Folge Rückschlüsse auf die jeweiligen Winter ziehen zu können.

Tabelle 5: Lawinenaktivität Winter 2011/2012 – ARFANG - Gonda

Lawine	total		spontan		künstlich	
	total	detektiert	total	detektiert	total	detektiert
<b>bestätigt</b>	71	33	4	4	67	29
<b>vielleicht</b>	57	57	44	44	13	13

Tabelle 6: Lawinenaktivität Winter 2012/2013 – ARFANG - Gonda

Lawine	total		spontan		künstlich	
	total	detektiert	total	detektiert	total	detektiert
<b>bestätigt</b>	17	6	7	1	10	5
<b>vielleicht</b>	44	44	41	41	3	3

Nachfolgende Statistiken (Abbildung 66, 67, 68) bilden den abschließenden Vergleich der Detektionsergebnisse zwischen den Lawinenwintern 2011/2012 und 2012/2013, um den Fortschritt des Systems ARFANG beurteilen zu können. Wie bereits zuvor erwähnt, wird es für den Lawinenwinter 2011/2012 aufgrund der nicht nachvollziehbaren Ereignisanzahl im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) eine erneute Auswertung geben.

Bestätigte, detektierte Lawinenabgänge	40
Lawinenabgänge unsicher	77
Fehldetektionen	138
Nicht erfasste Lawinenabgänge	10

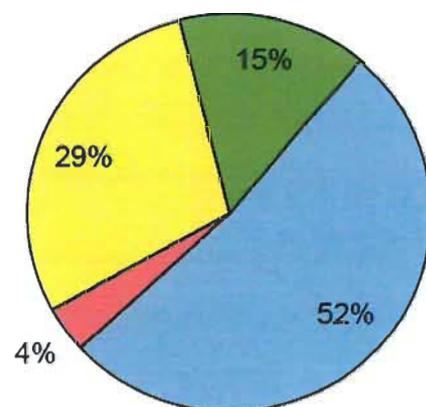


Abbildung 67: Auswertung Winter 2011/2012 SLF - ARFANG (aus Lussi et al., 2012)

Ergebnisse

Bestätigte, detektierte Lawinenabgänge	33
Lawinenabgang unsicher	57
Fehldetektion	159
Nicht erfasste Lawinenabgänge	38

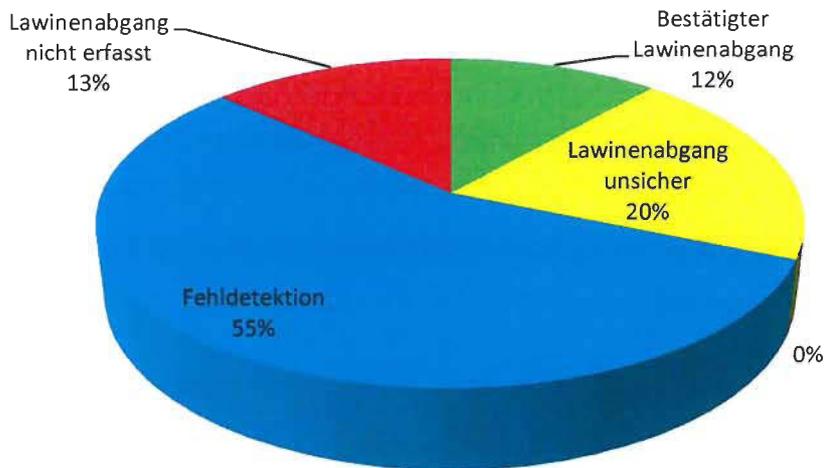


Abbildung 68: Auswertung Winter 2011/2012 – ARFANG (Tab.1/ANHANG)

Bestätigte, detektierte Lawinenabgänge	6
Lawinenabgang unsicher	44
Fehldetektion	84
Nicht erfasste Lawinenabgänge	11

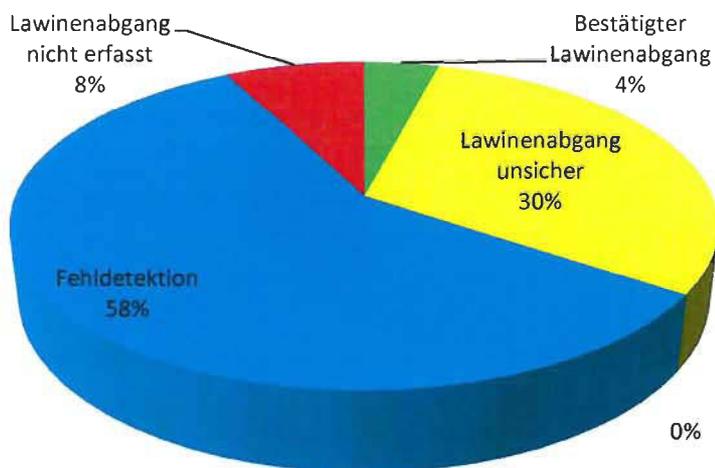


Abbildung 69: Auswertung Winter 2012/2013 – ARFANG (Tab.2/ANHANG)

Beim Vergleich der beiden Graphiken (Abbildung 67, 68) aus dem Lawinenwinter 2011/2012 bemerkt man, dass diese, wie erwartet, ein relativ ähnliches Ergebnis liefern. Lediglich die geringe Anzahl an nicht erfassten Lawinenabgängen in Abbildung 67 verwundert etwas, kann aber aufgrund fehlender Datengrundlagen nicht näher eruiert werden.

Im Vergleich zum Lawinenwinter 2011/2012 (Abbildung 68) scheint es beim Lawinenwinter 2012/2013 (Abbildung 69) mehr unsichere und weniger nicht erfasste und bestätigte Lawinenabgänge zu geben. Dies kann jedoch mit den stark unterschiedlichen Lawinenwintern erklärt werden, wie man der Tabelle 5 und 6 entnehmen kann. Der Lawinenwinter 2011/2012 war generell sehr schnee- und lawinenreich, während der Winter 2012/2013 genau das Gegenteil darstellte.

Auffallend ist, dass alle drei Graphiken ca. den gleichen Anteil an Fehldetektionen aufweisen (52-58%). Daraus lässt sich schließen, dass es beim System ARFANG keine Weiterentwicklung bzw. Verbesserungen gab.

Wie bereits in Kapitel 1.2.1 erwähnt, wurden die unsicheren Lawinenabgänge aufgrund des Wettergeschehens der letzten 10 Tage vor Eintritt des Ereignisses in die Unterkategorien „möglich“ und „unwahrscheinlich“ eingeteilt. Auch hier soll ein Vergleich der beiden Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 erfolgen.

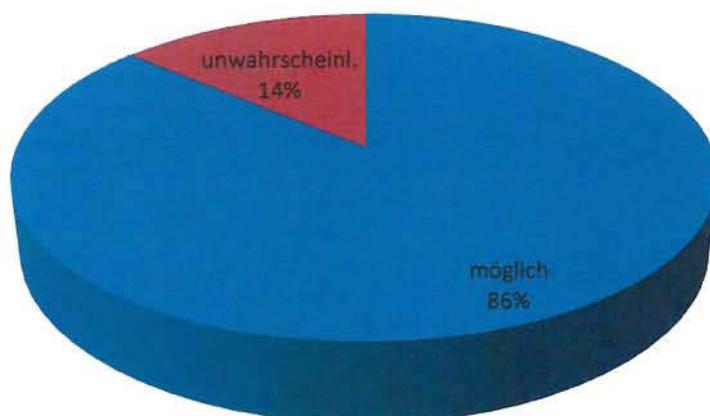


Abbildung 70: Unsichere Lawinenabgänge Winter 2011/2012 – ARFANG (Tab.1/ANHANG)

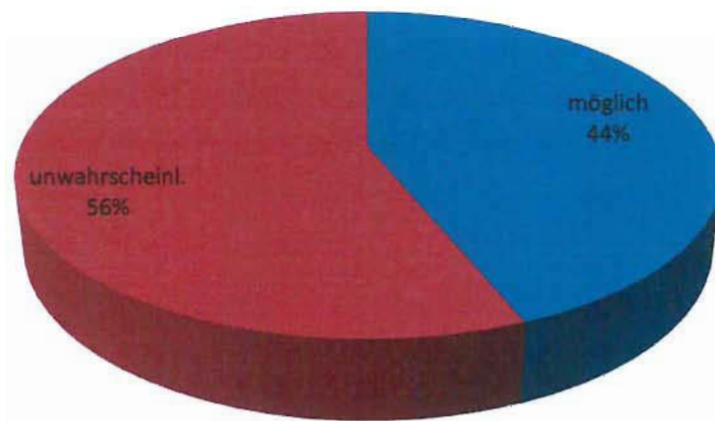


Abbildung 71: Unsichere Lawinenabgänge Winter 2012/2013 – ARFANG (Tab.2/ANHANG)

Bei den unsicheren Ereignissen scheint es auf den ersten Blick eine starke Veränderung gegeben zu haben, welche jedoch so nicht stattgefunden hat. Der wesentlich geringere Anteil an „unwahrscheinlichen Ereignissen“ im Lawinenwinter 2011/2012 resultiert aus dem wesentlich größeren Schneereichtum dieses Winters und der damit verbundenen schwierigeren Unterscheidung zwischen den beiden Unterkategorien.

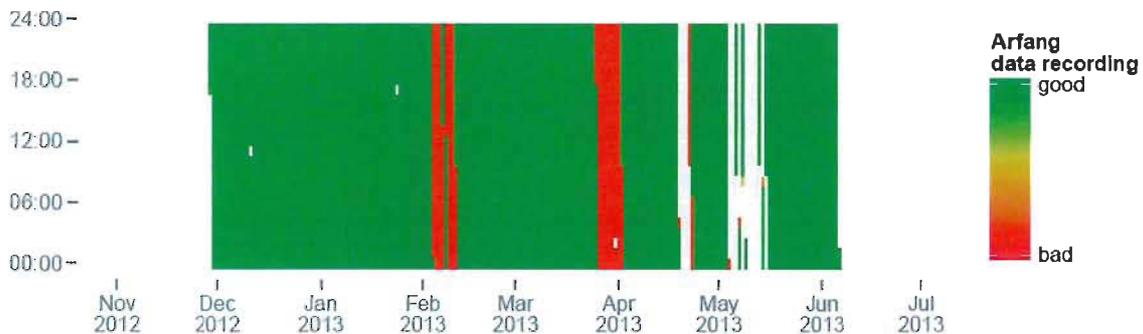
Das größte Problem des ARFANG ist jedoch nicht seine fehlende Weiterentwicklung, sondern die Tatsache, dass es von Peder Caviezel oder Curdin Egler validierte Ereignisse nicht als Lawinen ausscheidet, obwohl diese in den Rohdaten eindeutig ersichtlich sind. Im Zuge dieser Arbeit wurden bei der Überprüfung sämtlicher Sprengungen für die Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 zehn solcher Ereignisse gefunden, welche zwischen den Lawinengrößen groß und klein variieren.

Auf die im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) erwähnte Auswertung mittels Support Vector Machine (SVM) wird nicht näher eingegangen, da diese bei den vom ARFANG detektierten und anschließend via Internet publizierten Ereignissen offensichtlich keine Verwendung gefunden hat.

#### **3.1.1.1 Verfügbarkeit**

Der Betrieb des ARFANGs im Winter 2012/2013 war mit zahlreichen Ausfällen verbunden. Dabei kam es zu teilweise bis komplettem Verlust der Datenaufzeichnungen. Diesbezüglich

sei auf die folgende Abbildung 72 verwiesen, in welcher die Ausfälle ersichtlich sind (vgl. Schoch, 2013).



**Abbildung 72: Verfügbarkeit des ARFANGS im Winter 2012/2013 (aus Schoch, 2013). Bei gänzlich fehlender Einfärbung wurden keine Daten aufgezeichnet.**

Des Weiteren erscheint es laut Marcel Schoch/SLF als möglich, dass das System aufgrund seines Alters in naher Zukunft komplett versagt. Deshalb wird das System ohne weitere Investitionen bis zu seinem Ende betrieben (vgl. Schoch, 2013).

Generell ist sowohl die Zuverlässigkeit, als auch die Verfügbarkeit des Systems unzureichend. Der Umstand, dass das ARFANG aufgrund seiner mangelhaften Software neben zahlreichen Fehldetektionen auch größere Lawinen nicht erkannt hat und somit den Verantwortlichen eine falsche Einschätzung der Lawinensituation wiedergab, erscheint für ein Infrasound-Detektionssystem als untragbar.

Von Seiten des Herstellers IAV Engineering ist man nicht bestrebt, das Produkt ARFANG weiter voranzutreiben, weshalb dieses System zwar wissenschaftlich interessant, jedoch auch in naher Zukunft nicht praxistauglich sein wird (vgl. Schoch, 2013).

### 3.1.2 UHU (Infrasound)

Da das UHU keinen automatischen Lawinenerkennungsalgorithmus besitzt (vgl. Lussi et al., 2012), wird die in Kapitel 2.1.3 erwähnte Methodik angewandt und ausschließlich auf die von Peder Caviezel und Curdin Egler validierten Ereignisse zurückgegriffen. Ereignisse, für welche keine Rohdaten vorhanden waren bzw. welche keine genauen Abgangszeiten hatten, wurden nicht berücksichtigt.

Die nachfolgenden Graphiken beinhalten einen Überblick über die Anzahl der validierten Ereignisse, welche in den Plots des laufenden Spektrums (Abbildung 73) ersichtlich sind sowie einen Vergleich der bestätigten, detektierten Ereignisse des UHUs mit den bestätigten, detektierten Ereignisse des ARFANGs (Abbildung 74).

möglich: Lawine konnte im laufenden Spektrum erkannt werden	5
Unwahrscheinlich: Lawine konnte im laufenden Spektrum nicht erkannt werden	7

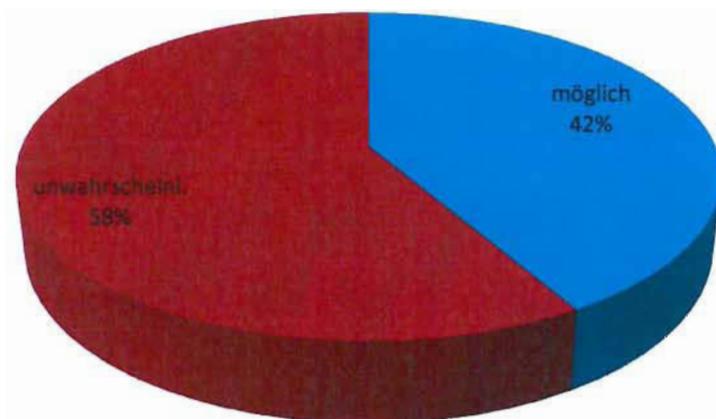


Abbildung 73: Auswertung Winter 2012/2013 – UHU (Tab.3/ANHANG)

Entsprechend dieser Graphik (Abbildung 73) ist es möglich, 42% der zuvor erwähnten Ereignisse in den Plots des laufenden Spektrums zu finden.

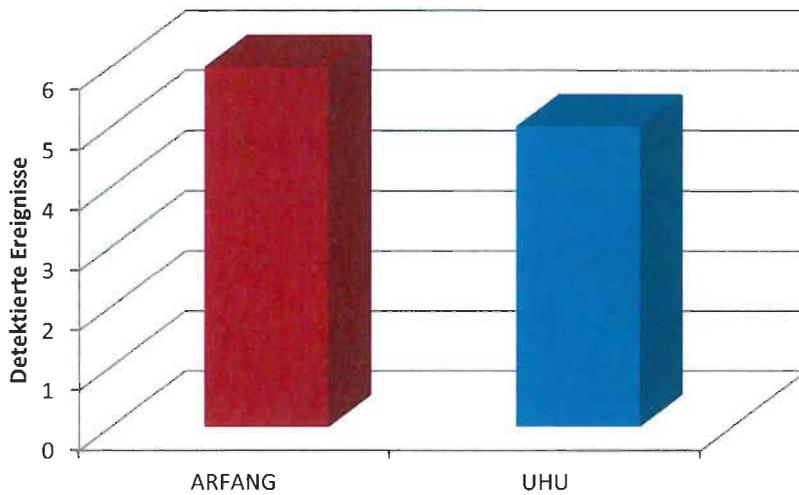


Abbildung 74: Vergleich der Detektionsrate ARFANG – UHU (Tab.3/ANHANG)

Dieser Graphik kann entnommen werden, dass das ARFANG 6 und das UHU 5 der zuvor erwähnten Ereignisse detektiert hat.

### 3.1.2.1 Verfügbarkeit

Das System UHU hatte während seines Betriebes im Lawinenwinter 2012/2013 zahlreiche kurzzeitige sowie drei längerfristige Unterbrechungen vorzuweisen. Diesbezüglich sei auf die folgende Abbildung 75 verwiesen, in welcher die Ausfälle ersichtlich sind (vgl. Schoch, 2013).

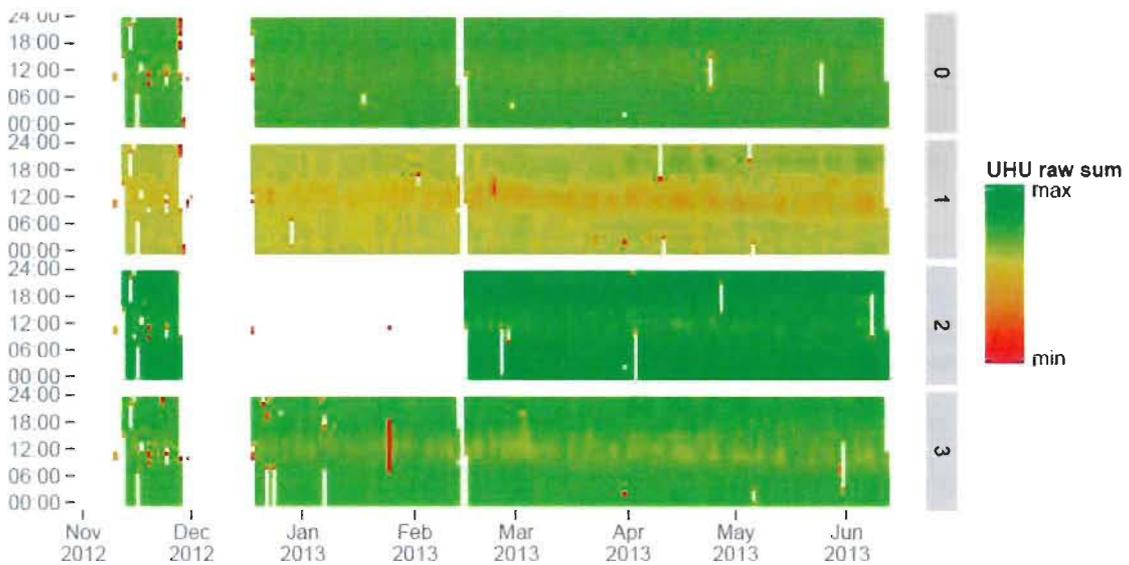


Abbildung 75: Verfügbarkeit des UHUs im Winter 2012/2013 (aus Schoch, 2013). Die Zahlen 0-3 stehen für die einzelnen Sensoren. Bei gänzlich fehlender Einfärbung wurden keine Daten aufgezeichnet.

Grundsätzlich ist sowohl die Zuverlässigkeit, als auch die Verfügbarkeit des Systems ähnlich bescheiden wie beim ARFANG, auch wenn beim UHU durch eine höherwertige Datenauswertung die Detektionsrate eventuell noch erhöht werden könnte.

Im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) wird erwähnt, dass die Anwendung des SVM – Prinzips auf die UHU Rohdaten eine große Verbesserung bringen könnte, da die Sensoren mehrere hundert Meter auseinander liegen. Aus der Sicht des Autors darf dies aufgrund der in den vorigen Kapiteln erwähnten Probleme bezweifelt werden. Generell scheint das UHU Potential zu haben, ob dies jedoch mit den derzeitigen Sensorstandorten (Wind, Eigenschwingung der Bäume, etc.) ausgeschöpft werden kann, ist in Frage zu stellen.

Ohne einen implementierten Lawinenerkennungsalgorithmus sowie eine entsprechend entwickelte Software ist das System zwar wiederum wissenschaftlich interessant, jedoch keineswegs praxistauglich. Die laufenden Spektren sind zwar ein erster Schritt dahin, zur eindeutigen Lawinenuvalidierung reichen sie aber nicht aus.

### 3.1.3 AlpuG (Seismik)

Die Auswertung der Geophone im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) konnte leider nicht nachvollzogen werden. Dies soll exemplarisch an folgendem Beispiel erklärt werden: Laut dem soeben erwähnten Bericht führten am 31.12.2011 zwischen 19:44 und 19:49 drei Sprengungen zu Lawinen. Diese wurden aber weder in den Sprengprotokollen, noch in den Meldeformularen von Peder Caviezel und Curdin Egler vermerkt. Selbstverständlich könnte es sich bei diesen Ereignissen um Lawinen handeln. Eine Verifikation als Lawine erscheint aber als nicht korrekt, da es keine Validierung für diese Ereignisse gibt.

Auf eine erneute Auswertung des Lawinenwinter 2011/2012 wurde dennoch verzichtet, da vor Beginn des Winters 2012/2013 das Geophon Ost versetzt wurde und die Rohdaten somit ohnehin nur bedingt vergleichbar sind (vgl. Schoch, 2013).

Im Folgenden werden nun die ausgewerteten Rohdaten der beiden Lawinenwinter verglichen, um etwaige Verbesserungen am System erkennen zu können.

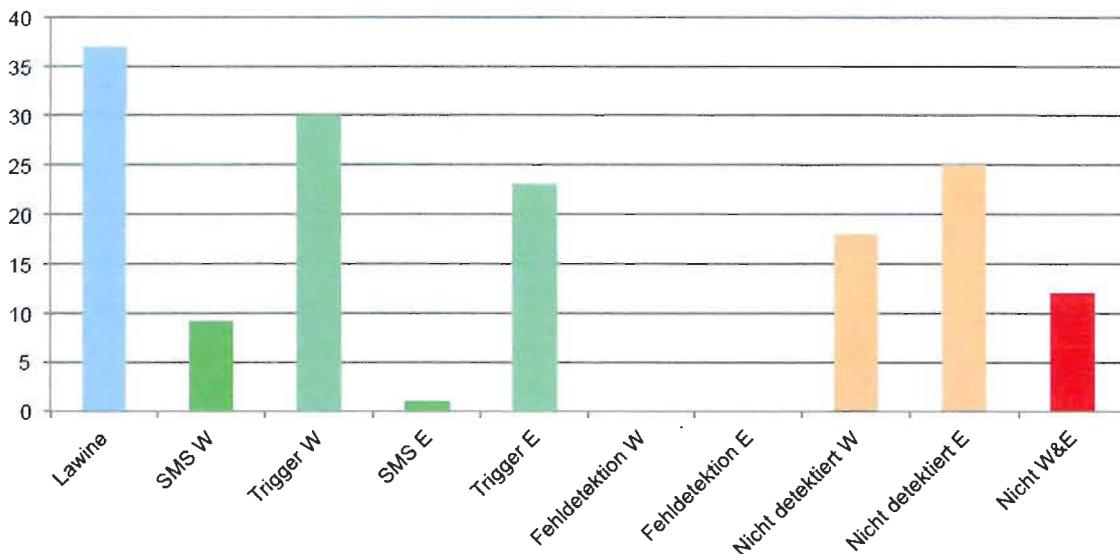
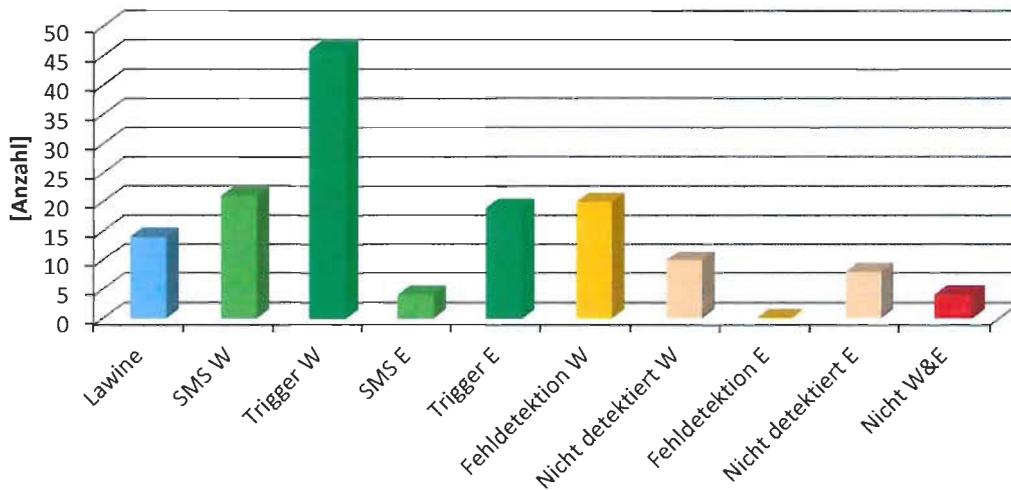


Abbildung 76: Auswertung Winter 2011/2012 SLF – AlpuG (aus Lussi et al., 2012)



**Abbildung 77: Auswertung Winter 2012/2013 – AlpuG (Tab.4/ANHANG)**

Die Anteile der nicht detektierten Ereignisse im Vergleich zu den validierten Lawinen waren in beiden Lawinenwintern etwa ident. Interessant ist die Tatsache, dass im Lawinenwinter 2012/2013 die Anzahl der ausgelösten Trigger die validierten Lawinen überstieg, während im Winter davor genau das Gegenteil der Fall war. Dies lässt sich wiederum mit dem wesentlich schnee- und lawinenärmeren Winter 2012/2013 begründen. Auffallend ist jedoch die enorme Anzahl an ausgelösten Triggern sowie verschickten SMS beim Geophon West. Eine genaue Analyse dieses Problems war im Zuge dieser Arbeit leider nicht möglich. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass sowohl die fehlerhaft ausgelösten Trigger als auch die fehlerhaft verschickten SMS immer in sehr geballten Zeiträumen auftraten. Zum Beispiel wurde am 8.11.2012 zwischen 14:38 und 15:00 zwölfmal der Trigger ausgelöst und 10 SMS verschickt, weshalb entweder von einem Software- oder Hardwareproblem ausgegangen werden muss.

Das Geophon Ost funktionierte im Vergleich zum Vorjahr besser und war eine ausgezeichnete Ergänzung zum Infrasondsystem ARFANG, da es sämtliche validierten Lockerschnee – Nassschneelawinen, welche das ARFANG nicht erkannte, detektieren konnte.

### 3.1.3.1 Verfügbarkeit

Die Geophone liefen in beiden Lawinenwintern ausgezeichnet und ohne Ausfälle (Schoch, 2013).

Generell sind dem Einsatz von Geophonen zur Lawinendetektion durch die in Kapitel 1.1.2 beschriebenen Phänomene Grenzen gesetzt. Dies zeigt sich auch am Standort Gonda, wo die Detektion durch den nicht idealen Standort der Geophone zusätzlich erschwert wird. Im Prinzip sind seismische Signale während der Anfangsphase der Beschleunigung einer Lawine relativ klein, da eine bestimmte Schneemenge von Nöten ist, um ausreichende seismische Energie für die Detektion durch Geophone zu erzeugen (vgl. Surinach et al., 2000). Dies entspricht genau dem Gegenteil der Anordnung in Gonda. Trotzdem soll nicht unerwähnt bleiben, dass die seismische Detektion in Kombination mit einem Infrasondsystem großes Potential besitzt, wie die zuvor erwähnten 4 Lockerschnee – Nassschneelawinen zeigen.

Summa summarum kann festgestellt werden, dass sich beim System AlpuG die Ergebnisse zwischen dem Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 beim Geophon West verschlechtert und beim Geophon Ost verbessert haben. Ob die Probleme beim Geophon West nur von kurzer Dauer waren und bereits behoben sind, kann aus der Ferne nicht genau beurteilt werden. Dies wird der kommende Winter zeigen. Die Verfügbarkeit des Systems ist hervorragend, die Zuverlässigkeit aufgrund der Grenzen der seismischen Detektion stark eingeschränkt, in Kombination mit einem Infrasondsystem aber womöglich gut. Die Zukunft eines Systems wird stets durch den Support der Hersteller bestimmt. Hier scheint dieses System gute Karten zu haben, da man von Seiten AlpuGs sehr bestrebt ist, die Entwicklung voran zu treiben.

### 3.1.4 IDA (Infrasound)

Die nachfolgenden Statistiken wurden, wie bereits in Kapitel 2.1.5 beschrieben, analog der Auswertung des ARFANGs erstellt. Allerdings wurde der Lawinenwinter 2012/2013 zweimal ausgewertet. Beim ersten Mal wurden ausschließlich die von Albert Siegele visuell validierten Ereignisse berücksichtigt (Abbildung 78), während beim zweiten Mal zusätzlich sämtliche Radaralarme (Abbildung 79) als Grundlage dienten. Wie bereits in Kapitel 2.1.5.1 erwähnt, können die Ereignisse, welche zu einem Radaralarm führten, aufgrund deren hoher Zuverlässigkeit den validierten Lawinen gleichgesetzt werden.

Bestätigte, detektierte Lawinenabgänge	4
Lawinenabgang unsicher	9
Fehldetektion	1
Nicht erfasste Lawinenabgänge	3

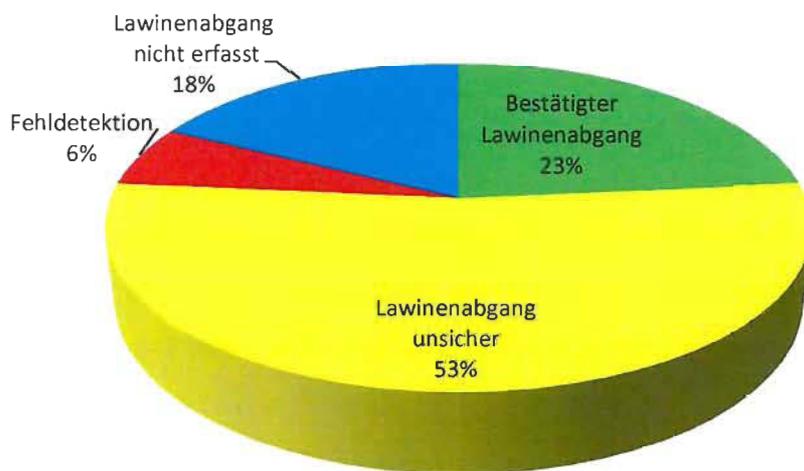
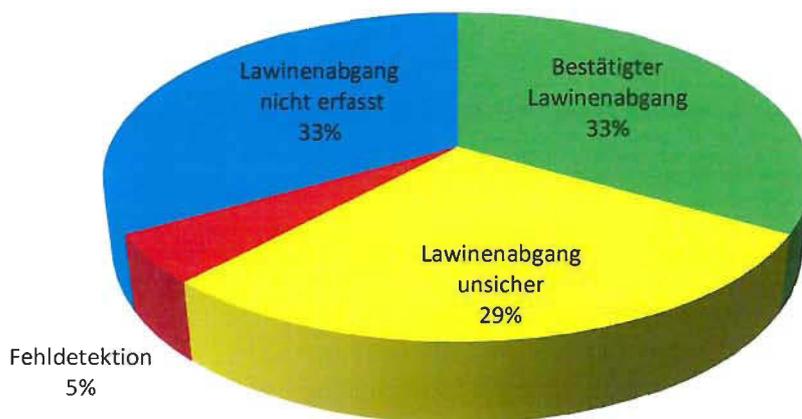


Abbildung 78: Auswertung Winter 2012/2013 ohne Radaralarme – IDA (Tab.5/ANHANG)

Bestätigte, detektierte Lawinenabgänge	7
Lawinenabgang unsicher	6
Fehldetektion	1
Nicht erfasste Lawinenabgänge	7



**Abbildung 79: Auswertung Winter 2012/2013 mit Radaralarne – IDA (Tab.6/ANHANG)**

Vergleicht man nun die beiden Abbildungen 78 und 79, so fällt auf, dass jene, welche auch die Radaralarne berücksichtigt, mehr bestätigte Lawinenabgänge und weniger unsichere Lawinenabgänge aufweisen. Dies lässt sich über die zusätzliche Validierung mittels des Radars erklären und entspricht dem erwarteten Ergebnis. Im Gegensatz dazu ist die Anzahl der nicht erfassten Lawinenabgänge gestiegen. Dies ist allerdings aufgrund der Tatsache, dass durch eine rein visuelle Validierung vorwiegend größere Lawinen erfasst werden, welche dementsprechend auch leichter von den diversen Systemen detektiert werden können, logisch.

Das System IDA hatte im Lawinenwinter 2012/2013 nur eine einzige Fehldetektion vorzuweisen, bei welcher es sich um einen Softwarebug gehandelt hat.

Des Weiteren erfolgte abermals, wie bereits in Kapitel 2.1.5 beschrieben, eine Unterteilung der unsicheren Lawinenabgänge in die Unterkategorien „möglich“ und „unwahrscheinlich“. Aufgrund dessen, dass jedoch nur ein einziges Ereignis als unwahrscheinlich eingestuft werden konnte, wird auf eine graphische Darstellung verzichtet.

### 3.1.4.1 Verfügbarkeit

Beim System IDA war der Lawinenwinter 2012/2013 eine Testphase. Daher können noch keine Aussagen zur Verfügbarkeit des Systems getroffen werden.

Beachtet man den Umstand, dass das Infrasondsystem IDA den ersten Winter in Betrieb war, so sind die Ergebnisse dieser Lawinendetektionsapplikation äußerst positiv. Im Vergleich zum ARFANG, welches im Lawinenwinter 2012/2013 58% Fehldetektionsanteil (Abbildung 69) vorzuweisen hatte, bedeutet der 5% - Anteil (Abbildung 79) des IDAs einen Quantensprung. Auch wenn das System aufgrund der kurzen Betriebsdauer noch nicht die Zuverlässigkeit einer praxistauglichen Lawinendetektion vorweisen kann, so scheint dies nur mehr eine Frage der Zeit zu sein, sofern man die Systemgrenzen der Lawinendetektionsanlagen, welche mit Infrasond operieren, akzeptieren kann. Hierzu wird in der Detailanalyse der Rohdaten des ARFANGs (Kapitel 3.2.1) sowie des IDAs (Kapitel 3.2.3) noch ausführlich Stellung bezogen.

Es soll auch erwähnt werden, dass das System IDA die Lawinenabgänge benachbarter Lawinenzüge äußerst zuverlässig detektierte. Lediglich ein von Albert Siegele validierter Abgang konnte nicht erfasst werden. Da der genaue Abgangszeitpunkt nicht bekannt ist, kann der Grund für diese fehlende Detektion leider nicht eruiert werden.

Summa summarum handelt es sich bei der Lawinendetektion IDA um ein System mit großem Potential. In Punkto Zuverlässigkeit sind jedoch noch Verbesserungen nötig, um Praxistauglichkeit zu erreichen. Die kommenden Winter werden zeigen, inwieweit dies möglich ist.

### 3.1.5 Lawinenradar (Radartechnologie)

Die nachfolgende Graphik (Abbildung 80) wurde aufgrund der in Kapitel 2.1.6 erwähnten Einteilung (Tabelle 7/ANHANG) erstellt. Im Anschluss an diese erfolgt die Publikation der Abbildung (Abbildung 81) aus dem SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012), um einen Vergleich zwischen den Lawinenwintern 2012/2012 und 2012/2013 anstellen zu können.

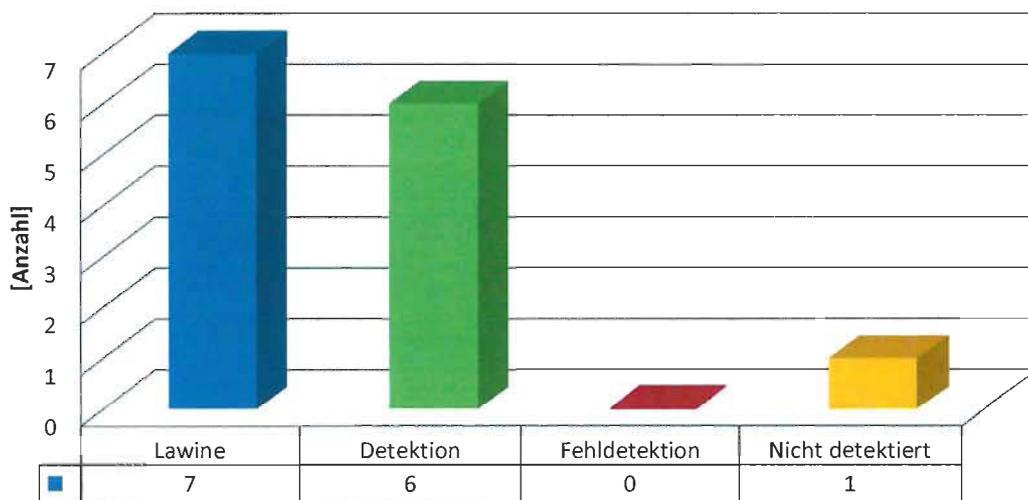


Abbildung 80: Auswertung Winter 2012/2013 – Lawinenradar

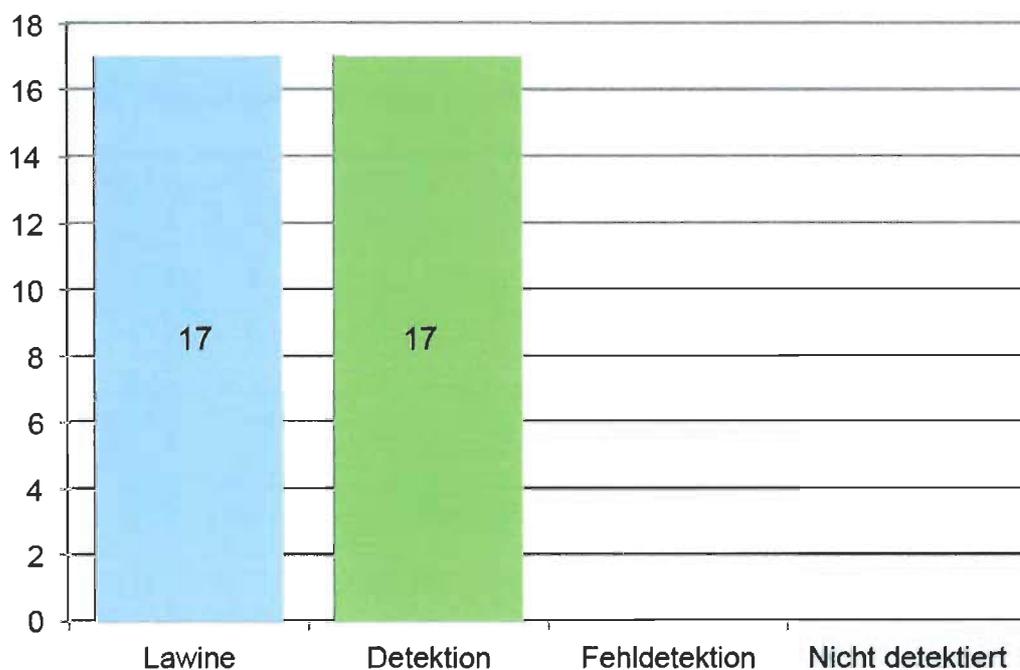


Abbildung 81: Auswertung Winter 2011/2012 – SLF – Lawinenradar (aus Lussi et al., 2012)

Die Detektionsrate von 100 Prozent konnte im Lawinenwinter 2012/2013 nicht ganz gehalten werden, da ein kleiner Schneerutsch nicht erfasst wurde. Da es sich bei diesem Ereignis aber um keine Lawine im eigentlichen Sinne handelte, sind die Ergebnisse der beiden Lawinenwinter praktisch ident.

#### **3.1.5.1 Verfügbarkeit**

Das Lawinenradar hatte nach Angaben der H&S Hochfrequenztechnik GmbH keinen einzigen Ausfall. Somit ist eine Verfügbarkeit von 100 Prozent gegeben.

Zusammengefasst funktionierte das Lawinenradar sowohl im Lawinenwinter 2011/2012, als auch 2012/2013 perfekt und erfüllt daher zum momentanen Zeitpunkt als einzige Anlage die Anforderungen an ein Lawinendetektionssystem hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.

### 3.1.6 Zusammenfassung Kapitel 3.1.1 – 3.1.5

Die Zusammenfassung erfolgt wiederum analog des SLF Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012), um die Detektionsergebnisse der beiden Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 vergleichen zu können.

Dabei wird ausschließlich die Zuverlässigkeit der diversen Detektionssysteme bewertet. Die Verfügbarkeit findet keine Verwendung, weshalb diesbezüglich auf die zuvor erwähnten Kapitel verwiesen werden soll. Die Einteilung erfolgt dabei in folgende Kategorien (vgl. Lussi et al., 2012):

Verpasste Lawine ( <i>a</i> )	Ein Lawinenabgang fand statt (bestätigt durch lokalen Beobachter), doch das Detektionssystem hat diesen nicht gemeldet.
Detektierte Lawine ( <i>b</i> )	Ein Lawinenabgang fand statt (bestätigt durch lokalen Beobachter), das Detektionssystem hat diesen erfasst und gemeldet.
Fehlalarm ( <i>c</i> )	Es fand kein Lawinenabgang statt, doch das Detektionssystem hat einen Abgang gemeldet.

**Abbildung 82: Kategorien für die Quantifizierung der Leistung eines Detektionssystems (aus Lussi et al., 2012)**

Unsichere Abgänge wurden, außer beim Lawinenradar, in die Kategorie Fehldetektion eingeordnet. Die unsicheren, aber wahrscheinlichen Abgänge des Radars wurden als detektierte Lawinen gewertet. Beim Geophon handelt es sich erst um ein detektiertes Ereignis, wenn ein SMS verschickt wird, wobei die beiden Geophone summiert betrachtet wurden. Ein ausgelöster Trigger reicht nicht. Beim IDA wurde zur Bestimmung der detektierten und verpassten Lawinen die Tabelle 6 im ANHANG (mit Radaralarmen) herangezogen (vgl. Lussi et al., 2012).

Anhand der in Abbildung 82 erwähnten Kategorien lassen sich nun Leistungsparameter der Detektionssysteme bestimmen. Im Anschluss wird nun für jedes Detektionssystem die Detektionswahrscheinlichkeit POD (Abbildung 83) und Fehlalarmquote FAR (Abbildung 83) berechnet (vgl. Lussi et al., 2012).

Detektionswahrscheinlichkeit	$POD = \frac{b}{a + b}$
Fehlalarmanteil	$FAR = \frac{c}{c + b}$

Abbildung 83: Definition der Leistungsparameter (aus Lussi et al., 2012). Die Buchstaben in den Formeln beziehen sich auf die Kategorien in Abbildung 82.

Tabelle 7: Ermittelte Leistungsparameter im Winter 2011/2012

Standort	System	a	b	c	POD	FAR
Gonda	ARFANG	38	33	216	0.46	0.87
Gonda	AlpuG	28	9	0	0.24	0.00
Gonda	UHU	-	-	-	-	-
Ischgl	IDA	-	-	-	-	-
Ischgl	Lawinenradar	0	17	0	1.00	0.00

Die in Tabelle 7 ersichtlichen Werte des Systems AlpuG sowie des Lawinenradars wurden vom SLF Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) übernommen.

Tabelle 8: Ermittelte Leistungsparameter im Winter 2012/2013

Standort	System	a	b	c	POD	FAR
Gonda	ARFANG	11	6	128	0.35	0.96
Gonda	AlpuG	9	5	20	0.36	0.80
Gonda	UHU	-	5	-	-	-
Ischgl	IDA	7	7	7	0.50	0.50
Ischgl	Lawinenradar	1	6	0	0.86	0.00

Logischerweise sollte die Detektionswahrscheinlichkeit POD möglichst Eins und die Fehlalarmrate FAR möglichst Null betragen (vgl. Lussi et al., 2012).

Generell detektieren die Geophone, wie erwartet, am schlechtesten. Die hohe Fehlalarmquote überrascht, ist jedoch ausschließlich auf die im Kapitel 3.1.3 erwähnten Probleme beim Geophon West zurückzuführen. Die Detektionsrate bei den Infrasondsystem ist den oben berechneten Parametern zu Folge gar nicht so schlecht. Insbesondere die Anlage IDA kann hier überzeugen. Das große Problem bei den Infraschallsystemen stellt die Fehlalarmrate dar, welche auch beim System IDA noch zu hoch ist. Die besten Leistungsparameter besitzt nach wie vor das Lawinenradar.

Das Resümee bezüglich erkennbarer Verbesserungen bei den diversen Lawinendetektionsanlagen fällt bescheiden aus. Beim System IDA können noch keine Aussagen getroffen werden, da es dieses erst seit dem Lawinenwinter 2012/2013 gibt. Leider konnten für die Lawinendetektionsapplikation UHU noch keine Leistungsparameter errechnet werden. Das Lawinenradar hatte keine Verbesserungen notwendig, die Parameter sind praktisch ident. Beim System AlpuG gab es zwar Verbesserungen (POD stieg von 0.24 auf 0.36), die hohe Fehlalarmquote beim Geophon West trübt jedoch das Ergebnis. Die Lawinendetektionsapplikation ARFANG konnte keine Verbesserungen vorweisen. Die Ergebnisse sind schlechter als im Vorjahr, wobei dieser Umstand sicherlich auch mit dem schnee- und lawinenärmeren Winter 2012/2013 begründet werden kann.

## 3.2 Detailanalyse der Rohdaten der Detektionssysteme

Das Ziel dieses Kapitels ist es, aus den Rohdaten Informationen hinsichtlich Lawinengröße, Lawinenart, Auslauflänge, etc. ableiten zu können. Die Methodik wurde bereits in Kapitel 2 beschrieben.

### 3.2.1 ARFANG (Infrasound)

IAV Engineering erwähnte bereits 2006, dass basierend auf der Dauer eines Ereignisses sowie der Frequenzverteilung des Infrasoundsignals ARFANG einen Größenindex für die Lawinen liefern kann. Weiters wird erwähnt, dass eine Klassifikation in drei Größenklassen als möglich erscheint (IAV Engineering, 2006). Vom Autor konnte keine Studie oder Publizierung gefunden werden, die diese Behauptung jemals bestätigt oder widerlegt hat, weshalb dies im Folgenden überprüft wird.

Generell konnten im Zuge der Analyse Nassschneelawinen von Trockenschneelawinen gut unterschieden werden. Dabei zeigte sich, dass Nassschneelawinen bei ihrem größten Amplitudenpeak bereits eine beachtliche Menge an hochfrequenter Schallenergie größer 10Hz aufweisen (Abbildung 84), während Trockenschneelawinen beim zuvor erwähnten Peak überwiegend Infrasound im Frequenzbereich kleiner 10Hz verursachen (Abbildung 85).

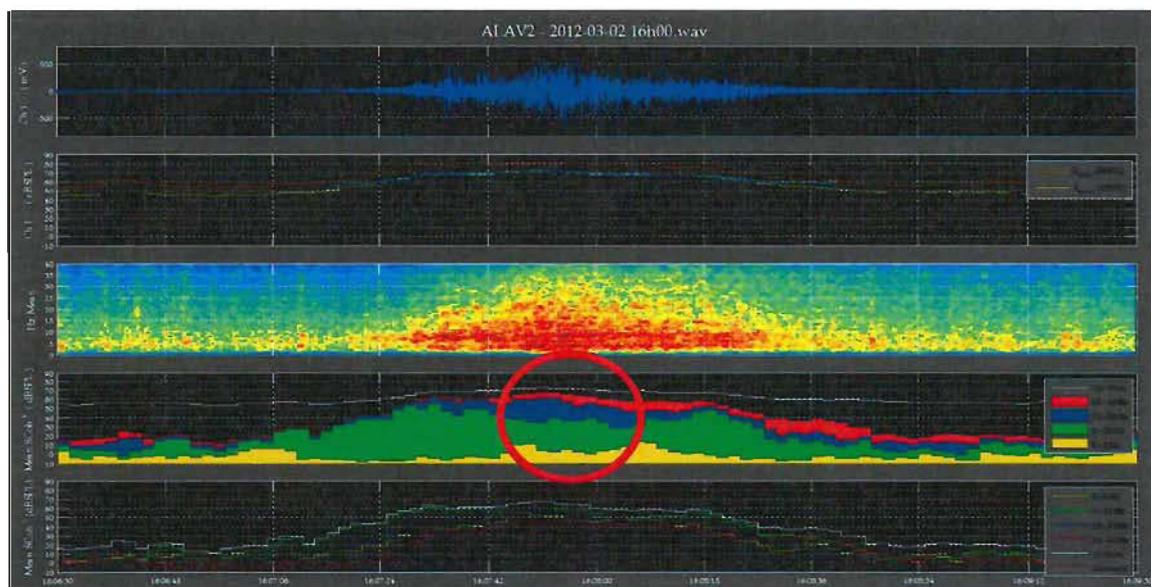


Abbildung 84: Nassschneelawine - ARFANG. Beim Amplitudenpeak (roter Kreis) ist der Anteil an Schallenergie im Bereich von 10-20Hz (blaue Einfärbung) und 20-40Hz (rote Einfärbung) bereits beachtlich.

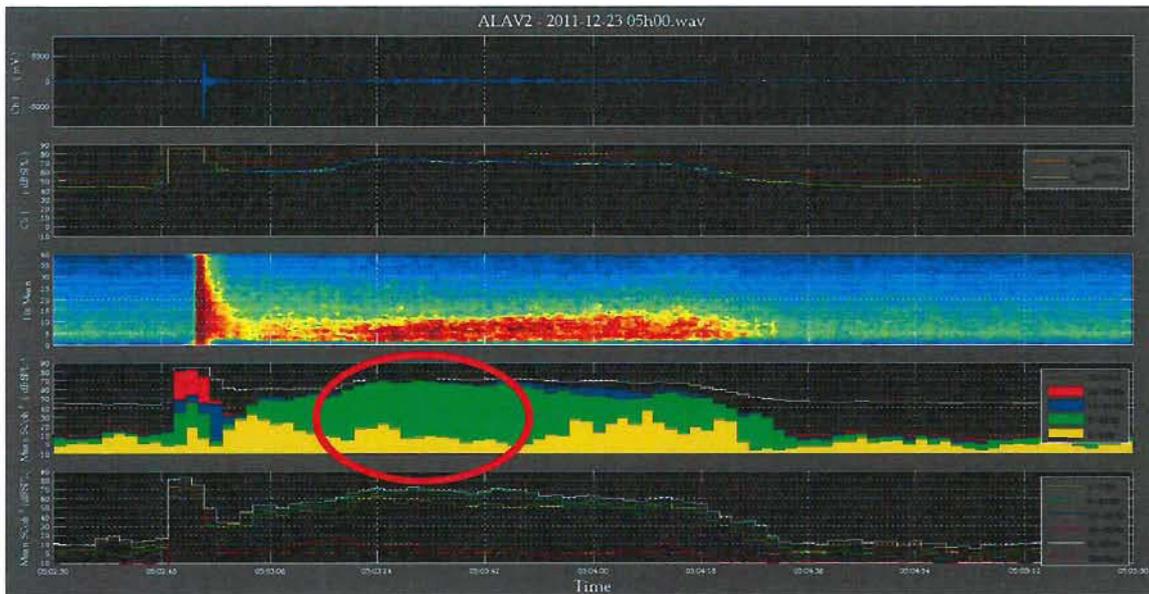


Abbildung 85: Trockenschneelawine - ARFANG. Beim Amplitudenpeak (roter Kreis) überwiegt der Anteil an Energie im Frequenzbereich von 0-5Hz (gelbe Farbe) und 5-10Hz (grüne Farbe).

Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine Größenklassifikation in drei Größenklassen, wie in der zuvor erwähnten Behauptung von IAV Engineering (vgl. IAV Engineering, 2006), Sinn ergibt, sofern man die Unterteilung in Trocken- und Nassschneelawinen berücksichtigt. Die nachfolgenden Tabellen (Tabelle 8 und 9) stammen aus einer Analyse der Tabellen 8 im ANHANG. Sie beinhaltet sämtliche in den Lawinenwintern 2011/2012 und 2012/2013 von Peder Caviezel und Curdin Egler validierten Ereignisse, sofern für diese eine Detektion durch das System ARFANG erfolgte.

Tabelle 9: Größenklassifikation Trockenschneelawinen - ARFANG

Lawinengröße	Auslauflänge	Signaldauer [sec]	Schalldruckpegel (dB SPL) [dB]
groß	über Kessel	77 - 116	67 - 77
mittel - groß	über Kessel	66 - 106	59-73
mittel	über Kessel	53 – 68	57 - 66
mittel	im Kessel	53 – 58	59 - 63
klein – mittel	im / über Kessel	22 - 60	42 – 62
klein	im / über Kessel	≤28	≤ 43

Tabelle 10: Größenklassifikation Nassschneelawinen - ARFANG

Lawinengröße	Auslauflänge	Signaldauer [sec]	Schalldruckpegel (dB SPL) [dB]
groß	über Kessel	ca. 86	ca. 74
mittel	über Kessel	74 – 100	68 - 71
klein	im / über Kessel	≤ 112	≤ 63

Die in Tabelle 9 und 10 erwähnten Zahlen sollen lediglich illustrieren, dass eine Größenklassifikation in 3 Klassen möglich erscheint. Sie sind ausschließlich für den Standort Gonda und das System ARFANG gültig und können nicht als allgemein gebräuchliche Parameter herangezogen werden. Vergleicht man die beiden Tabellen, so erkennt man, dass eine Unterscheidung von Trocken- und Nassschneelawinen zwingend ist, um die Größe richtig klassifizieren zu können. Des Weiteren sei vermerkt, dass die Signaldauer zwar eine grobe Aussage über die Auslauflänge gibt, es dem Autor aber nicht möglich war, hier eine Unterscheidung vornehmen zu können.

Zu guter Letzt wurde noch versucht, Systemgrenzen aufzeigen zu können. Diesbezüglich wurden sämtliche von Peder Caviezel und Curdin Egler validierten Lawinen, welche ARFANG nicht detektierte, analysiert (Tabelle 9/ANHANG). Dabei stellte sich heraus, dass die Ergebnisse auf zwei wesentliche Punkte zusammengefasst werden können:

- Mittels des ARFANGs ist es möglich, Lawinen einschließlich der Größe „mittel“ zuverlässig zu detektieren. Würde das ARFANG über eine besser entwickelte Software verfügen und sämtliche in den Rohdaten ersichtlichen Ereignisse erkennen, so wäre mit dieser Systemgrenze eine Detektionsrate von 100 Prozent möglich.
- Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass im Frühjahr abgehende Lockerschnee – Nassschneelawinen aufgrund der fehlenden turbulenten Bewegung der Suspensionsschicht nicht detektiert werden können, unabhängig von deren Größe.

Die in der Tabelle 9/ANHANG rot hinterlegten Ereignisse entsprechen den von ARFANG nicht detektierten, jedoch in den Rohdaten ersichtlichen Events. Die gelb hinterlegten Ereignisse in dieser Tabelle entsprechen den zuvor erwähnten Lockerschnee – Nassschneelawinen.

### 3.2.2 AlpuG (Seismik)

Die Detailanalyse der Rohdaten des Systems AlpuG gestaltete sich als äußerst schwierig, da beim Geophon West nur vier und beim Geophon Ost nur sechs verwertbare Ereignisse zur Verfügung standen. Um ein verwertbares Ereignis handelt es sich, wenn für dieses sowohl eine Validierung durch Peder Caviezel oder Curdin Egler als auch zumindestens ein ausgelöster Trigger eines Geophons vorliegt.

Die nachfolgenden Graphiken (Abbildung 86 – 88 für das Geophon West, Abbildung 89 – 91 für das Geophon Ost) bieten nun für jedes Geophon die mv – Verläufe, die Pulsverläufe als auch die Pulssummen der zuvor erwähnten Ereignisse. Anschließend wird versucht, anhand dieser Graphiken generelle Aussagen hinsichtlich der Lawinengröße, Lawinenart, etc. treffen zu können.

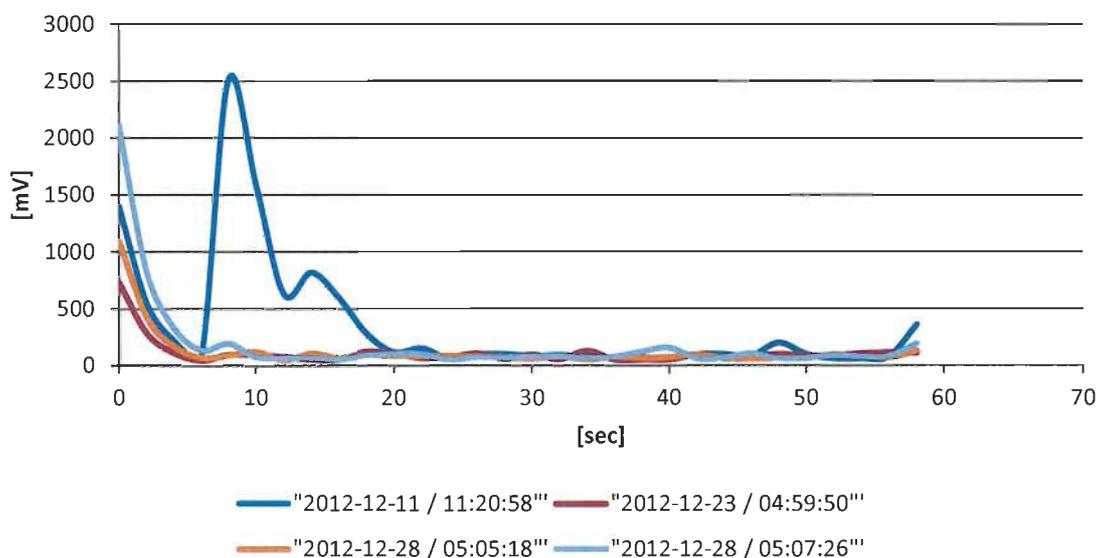


Abbildung 86: mV – Verläufe beim Geophon West – AlpuG

## Ergebnisse

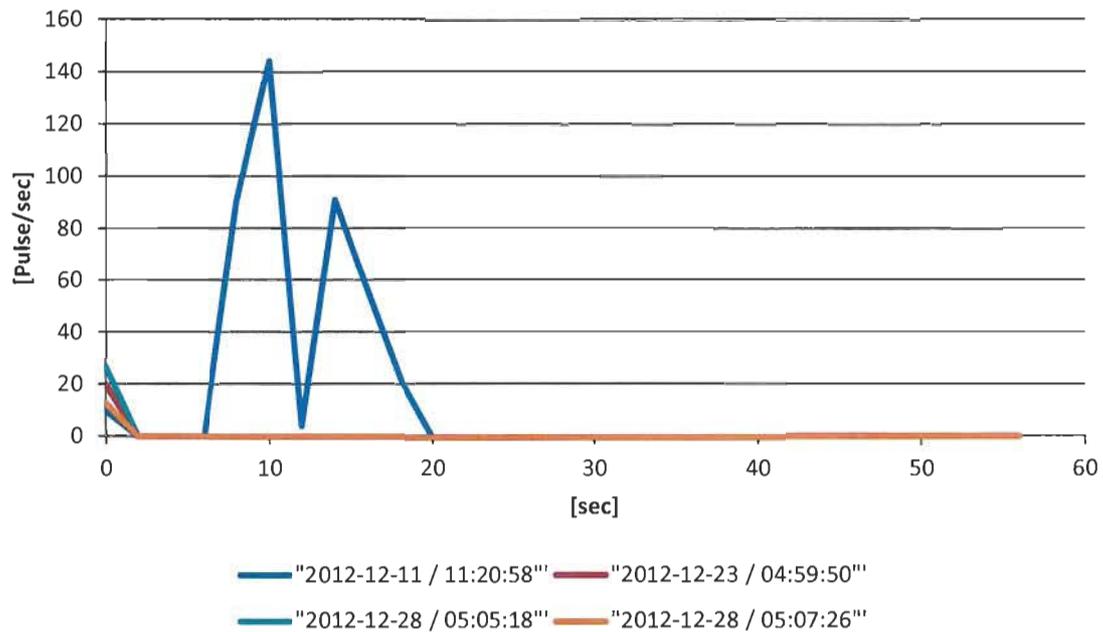


Abbildung 87: Pulsverläufe beim Geophon West – AlpuG

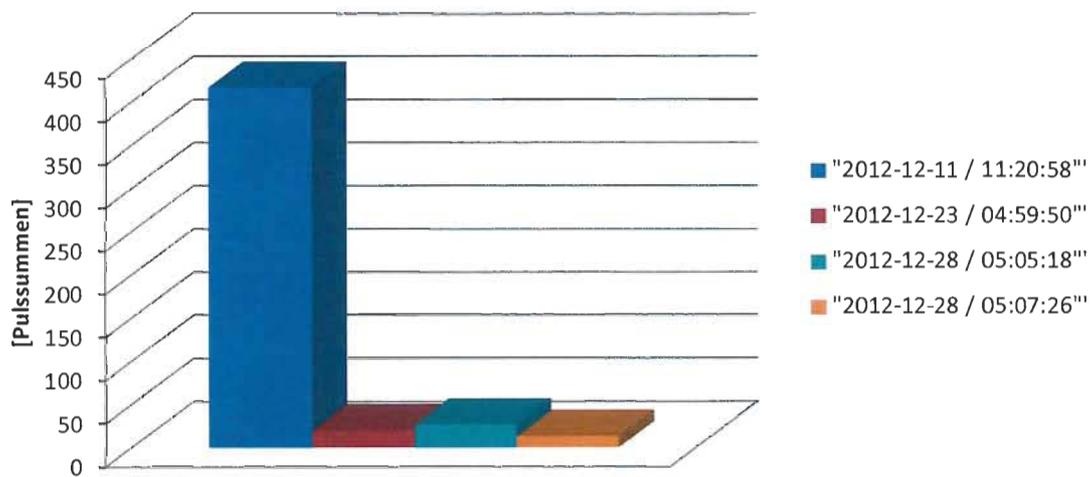


Abbildung 88: Pulssummen beim Geophon West – AlpuG

Zu Beginn sei erwähnt, dass lediglich das Ereignis am 11.12.2012 (11:20) groß genug war, um den „SMS“ – Schwellenwert zu erreichen. Bei diesem Ereignis kann jedoch aufgrund des untypischen mV – und Pulsverlaufes nicht ausgeschlossen werden, dass es eine Fehldetektion darstellt. Bei sämtlichen Ereignissen handelt es sich um Trockenschneelawinen. Die restlichen 3 Events erzeugten leider nur geringe seismische Signale.

Ergebnisse

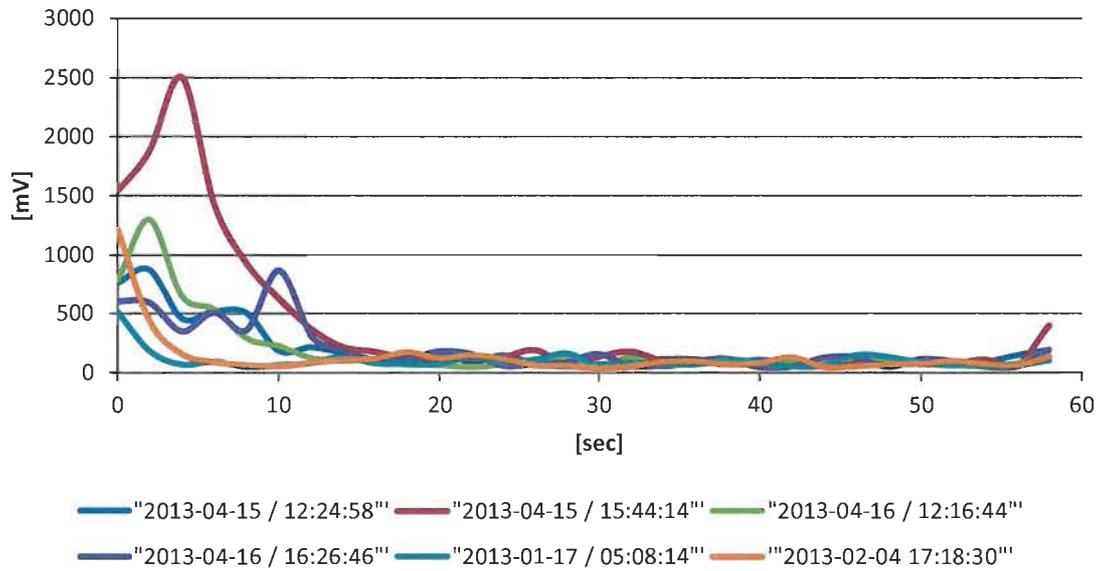


Abbildung 89: mV – Verläufe beim Geophon Ost – AlpuG

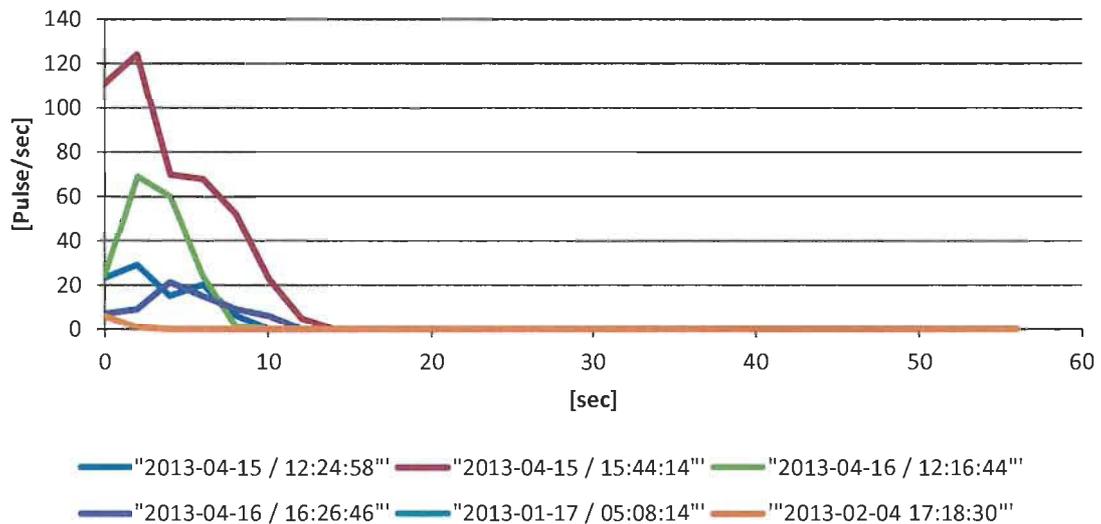


Abbildung 90: Pulsverläufe beim Geophon Ost – AlpuG

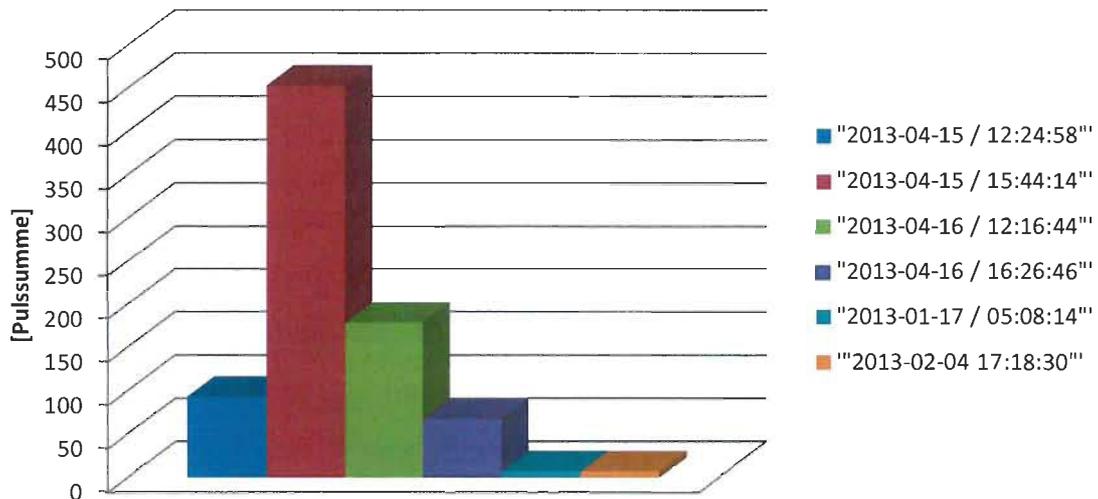


Abbildung 91: Pulssummen beim Geophon Ost - AlpuG

Bei den Ereignissen zwischen 15.04.2013 und 16.04.2013 handelt es sich um Lockerschnee – Nassschneelawinen, welche ausreichend große seismische Signale verursachten, um den „SMS“ – Schwellenwert zu erreichen. Dieses stehen im Gegensatz zu den restlichen zwei Ereignissen, bei welchen es sich um Trockenschneeevents handelt, deren Größe für die Versendung eines SMSs nicht ausreichte.

Zusammengefasst kann die Behauptung aus Kapitel 1.3, dass Nassschneelawinen aufgrund ihrer höheren Dichte und damit verbundenen höheren Reibung mehr seismische Emissionen erzeugen und daher mittels Geophonen besser zu detektieren sind als Trockenschneelawinen, bestätigt werden (vgl. Kogelnig, 2012c).

Bei den Nassschneelawinen reicht das detektierte seismische Signal sogar aus, um eine Größenklassifikation vornehmen zu können. Dabei entspricht das Ereignis am 15.04.2013 (15:44) einer mittleren bis großen und die restlichen drei Events einer mittleren Nassschneelawine. Diese Tatsache zeigt sich sowohl im mV- als auch Pulsverlauf und kann auch in den Pulssummen nachvollzogen werden.

### 3.2.3 IDA (Infrasound)

Auch beim System IDA gestaltete sich die Detailanalyse der Rohdaten aufgrund der kurzen Betriebsdauer als nicht ganz einfach. Es standen lediglich 8 von Albert Siegele bzw. Radaralarmen validierte Lawinen zur Verfügung, wovon 3 außerhalb des Großtals abgingen. Analog der Tabelle 6 im Anhang (inkl. Radaralarme) müssten im Großtal eigentlich 7 validierte Lawinen zur Analyse vorhanden sein. Diesbezüglich muss jedoch erwähnt werden, dass 2 dieser Lawinen mit den zur Verfügung stehenden Auswertungsmethoden (Laufendes Spektrum, Frequenzverteilung und Wellenform – siehe Kapitel 2.1.5) aus den Rohdaten nicht visualisiert werden konnten und sich somit der Detailanalyse entzogen.

Trotzdem konnte wiederum eine Größenklassifikation in 3 Kategorien erfolgen. Die nachfolgende Tabelle 11 bietet einen ersten groben Überblick und stammt aus der Analyse der Tabelle 10 im ANHANG. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass beim System IDA eine genaue Unterscheidung zwischen Nassschnee – und Trockenschneelawinen, wie beim System ARFANG, nicht möglich war und somit die Aussagekraft der Tabelle stark getrübt ist. Die Gründe für die fehlende Differenzierung zwischen den beiden Lawinenarten konnten im Zuge dieser Arbeit nicht genau eruiert werden. Höchstwahrscheinlich liegen diese in den unzureichenden Analysemitteln, wie zuvor erwähnt, begründet. Es ist jedoch auch durchaus vorstellbar, dass eine mögliche Bandfilterung der Daten für den Frequenzbereich von 0.8 – 12Hz zur Ausscheidung der erforderlichen Frequenzbereiche geführt hat (vgl. Ulivieri et al., 2011).

**Tabelle 11: Größenklassifikation von Nass- und Trockenschneelawinen – IDA (Ischgl)**

Lawinengröße	Lawinenart	Auslauflänge	Signaldauer [sec]	Spitzendruck [mPa]
groß	trocken	über Kessel	ca. 96	2918
groß	nass	über Kessel	61 – 235	292 - 1324
mittel	trocken	über Kessel	7 -10	102 - 241
klein	trocken	Im Kessel	≤ 7	≤ 165

Generell erzeugen Trockenschneelawinen, wie in Kapitel 1.3 erwähnt, größere Infraschallemissionen als Nassschneelawinen. Dieses Phänomen konnte auch beim System

IDA beobachtet werden (siehe Tabelle 11). Des Weiteren soll auch hier darauf hingewiesen werden, dass die in Tabelle 11 erwähnte Größenklassifikation ausschließlich für den Standort Ischgl sowie das System IDA gültig ist.

Wie auch bei der Detailanalyse des Systems ARFANG wurde beim System IDA versucht, Systemgrenzen aufzeigen zu können, indem sämtliche von Albert Siegele und Radaralarmen validierten Lawinen, welche das IDA nicht erkannt hatte, näher analysiert wurden (Tabelle 11 im ANHANG).

Grundsätzlich gilt auch beim System IDA, dass Lawinen einschließlich der Größe „mittel“ und größer zuverlässig detektiert werden. Allerdings muss hier erwähnt werden, dass, wie in der Tabelle 11 im ANHANG ersichtlich, sowohl eine große als auch eine mittlere Lawine nicht detektiert wurden. Diese Probleme wurden dem Hersteller Item Geophysics im Zuge dieser Arbeit mitgeteilt, jedoch konnten bis dato keine Gründe für die Nichtdetektionen festgestellt werden. Um ein zuverlässiges und praxistaugliches Tool für die Lawinendetektion darzustellen, dürfen derartige Probleme in weiterer Zukunft allerdings nicht mehr vorkommen. Der Winter 2013/2014 wird hierüber Aufschluss geben.

Weil im Lawinenwinter 2012/2013 keine validierten Lockerschnee – Nassschneelawinen vorhanden sind, konnte nicht überprüft werden, ob diese wie beim System ARFANG unerfasst bleiben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Lockerschnee – Nassschneelawinen generell nicht von Infrasondsystemen detektiert werden.

### 3.2.4 Lawinenradar (Radartechnologie)

Der Standort Ischgl ist durch die Topographie der Anrissgebiete sowie der Lawinenbahn für die Detailanalyse von Radarrohdaten nicht ideal. Wie der Abbildung 91 entnommen werden kann, verursacht sowohl der durch die orange Linie gekennzeichnete Rücken als auch die S – Form der Lawinenbahn (blaue Linie) sogenannte Schattenbereiche, in welchen das Lawinenradar nicht detektieren kann. Dieser Umstand macht die Daten schwer vergleichbar. Trotzdem wurde versucht, eine Detailanalyse analog der anderen Systeme zu realisieren (vgl. Kogelnig, 2012b).



**Abbildung 92: Topographie der Großtallawine in Ischgl (aus Kogelnig, 2012b). Die rote Linie kennzeichnet den Sichtbereich des Lawinenradars, die orange Linie den zuvor erwähnten Rücken und die blaue Linie die sichtbare Lawinenbahn.**

Die nachfolgende Tabelle 12 liefert wiederum Hinweise für die Größenklassifikation von Lawinen in drei Kategorien. Diese Tabelle wurde durch eine Analyse der Tabelle 12 im ANHANG erstellt. Die Tabelle 12 im ANHANG beinhaltet sämtliche im Lawinenwinter 2012/2013 durch Albert Siegele bzw. Radaralarmer validierten Lawinen. Es soll jedoch auch diesmal erwähnt werden, dass die in Tabelle 12 ersichtlichen Zahlen ausschließlich für den Standort Ischgl recherchiert wurden und somit keine allgemein gültigen Parameter darstellen.

Tabelle 12: Größenklassifikation von Nass- und Trockenschneelawinen – Lawinenradar. Die entscheidenden Parameter sind grün hinterlegt.

Lawinengröße	Lawinenart	Signaldauer	Auslauflänge	Durchschnittliche Entfernungstore	Zeitfaktor (Signaldauer/Entfernungstore)	Kanal (bei max. Amplitudenstärke)	max. Amplitudenstärke	Amplitudensumme (bei max. Amplitudenstärke)	Amplitudensumme (bei Range Gate 4)	Range Gate der max. Amplitudenstärke
groß	nass	38-46	über Kessel	25	1.52–1.84	374–427	9–13	699-2294	566-2548	4-23
groß	trocken	ca. 36	über Kessel	25	ca. 1.44	ca. 215	ca. 14	ca. 442	ca. 504	ca. 24
mittel	trocken	12-34	über Kessel	10-14	1.20-2.83	193-656	5-9	417-866	413-693	12-15
klein-mittel	nass	ca. 4	im Kessel	6	ca. 0.67	ca. 258	ca. 8	ca. 772	-	ca. 11
klein-mittel	trocken	8-14	im Kessel	4-8	1.71-2.00	415-576	8-10	697-1361	-	12-16
klein	trocken	37-53	im Kessel	10-13	3.08-4.40	215-250	6.5-10	394-584	-	23-28

Wie der Tabelle 12 entnommen werden kann, konnten keine Kriterien für eine Differenzierung zwischen Trockenschnee- und Nassschneelawinen gefunden werden. Generell müsste dies jedoch möglich sein, da nasser und trockener Schnee ein unterschiedliches Reflexionsverhalten aufweisen (siehe Kapitel 1.2.5). Möglicherweise ließen sich mit einem größeren Datenpool derartige Parameter finden. Hier ist sicherlich einiges an Forschungsbedarf für künftige wissenschaftliche Arbeiten vorhanden.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Einteilung in die drei erwähnten Größenklassen beim Lawinenradar um einiges komplizierter ist als bei den Systemen in den Kapiteln zuvor, da immer eine Summe aus mehreren Parametern von Nöten ist um diese Unterscheidung vornehmen zu können. Dies sei im Folgenden kurz zusammengefasst:

## Ergebnisse

- Große Lawinen durchschreiten stets 25 Entfernungstore, weisen einen Zeitfaktor von kleiner 1.84 sowie eine Amplitudenstärke größer 9 auf und besitzen eine Amplitudensumme beim Range – Gate 4 größer 500.
- Mittlere unterscheiden sich von großen Lawinen dadurch, dass sie nie 25 Entfernungstore durchschreiten und beim Range – Gate 4 Amplitudensummen kleiner 500, aber größer 400 vorweisen.
- Kleine bis mittlere und kleine Lawinen überschreiten den Anbruchskessel und damit das Range – Gate 4 nicht mehr, so dass sie leicht von den beiden zuvor erwähnten Kategorien unterschieden werden können. Kleine Lawinen weisen aufgrund ihrer geringeren Geschwindigkeiten Zeitfaktoren größer 3.00 auf.

Summa summarum geben sowohl die Amplitudenstärke, die Kanäle als auch die Amplitudensummen keine zuverlässigen Aussagen über die Lawinengröße, -art oder Auslauflänge. Lediglich mit den durchschrittenen Entfernungstoren sowie dem Range Gate 4 lassen sich Größe und Auslauflänge einer Lawine einigermaßen klassifizieren.

Ein großes Plus des Lawinenradars ist die Möglichkeit der genauen Bestimmung der Auslauflänge und Höhe des Anbruchgebietes, sofern sich diese im Sichtbereich des Radars befinden.

Das Lawinenradar verfügt über keinerlei Systemgrenzen, sofern man den geringen Abdeckungsbereich und etwaige Schattenbereiche im Sichtbereich des Radars akzeptieren kann.

### 3.3 Feldversuche am Kitzsteinhorn zur Entwicklung eines Funktionsschemas für ein einfaches Detektionssystem

Um die Versuche für künftige wissenschaftliche Arbeiten rekonstruierbar zu halten, wird zu Beginn ein Schneeprofil (Abbildung 93), welches am Tag der Messungen (17.04.2013, 13:00) aufgenommen wurde, gezeigt. Es handelt sich um ein Ramm-, kein Handprofil.

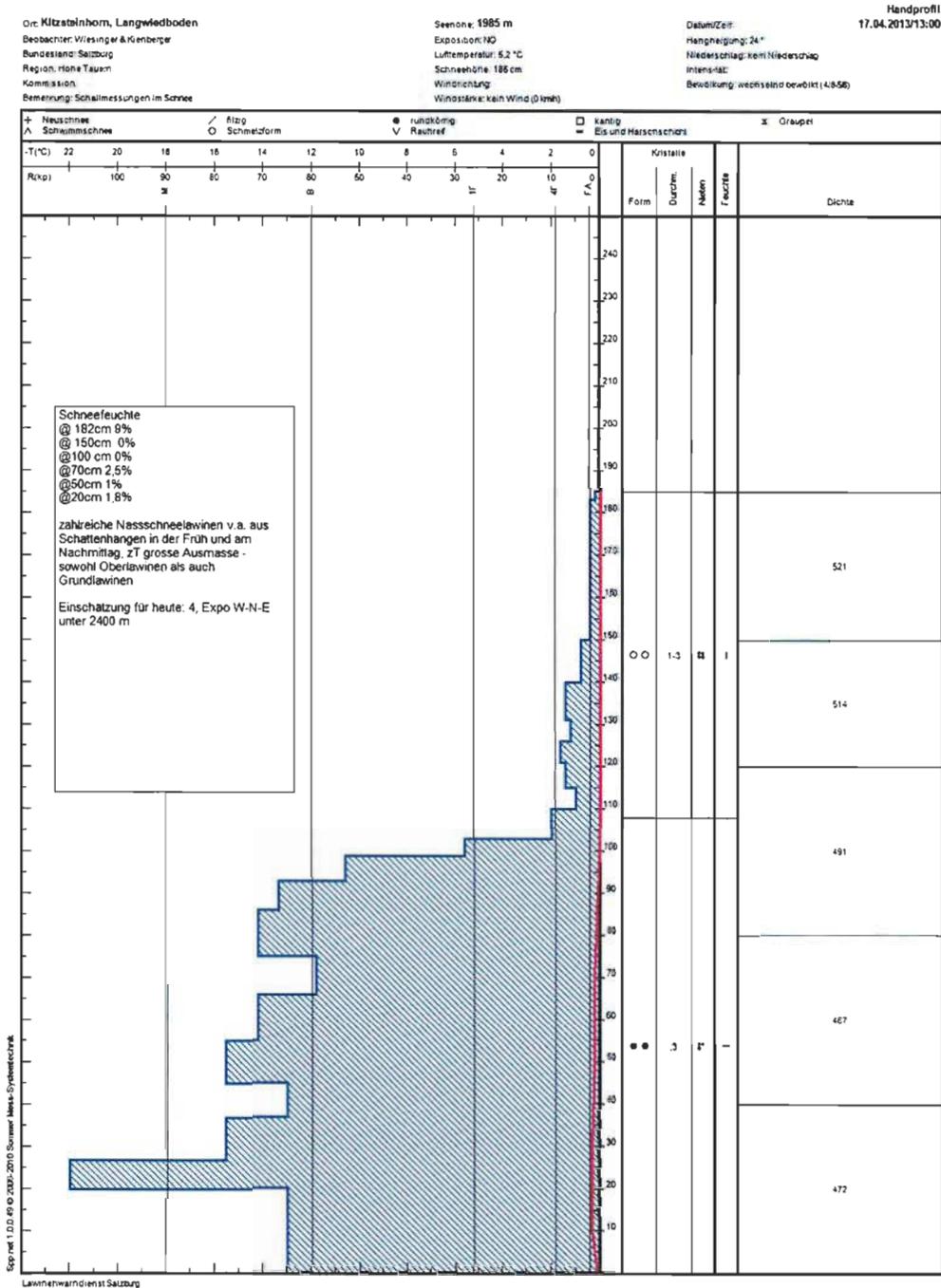


Abbildung 93: Schneeprofil am Kitzsteinhorn (17.04.2013/13:00) in unmittelbarer Nähe der Feldversuche

### 3.3.1 Funktionsschema hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Bei den Feldversuchen am Kitzsteinhorn zur Ermittlung der Abschirmung von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung durch Schnee wurden analog der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Methodik zahlreiche Messungen durchgeführt. Zu Beginn wurde versucht, anhand von horizontalen Schneelöchern in unterschiedlichen Tiefen (Abbildung 94) zu messen. Aufgrund dessen, dass die DECT – Antenne jedoch nach allen Richtungen unterschiedlich stark ausstrahlte und die horizontalen Schneelöcher über keinen planen Untergrund verfügten, waren die Ergebnisse der Messungen nicht vergleichbar und somit auch nicht verwertbar.



**Abbildung 94: Horizontale Schneelöcher – Messung Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee**

Deshalb wurde dazu übergegangen, zwei vertikale Schneelöcher zu graben und Messungen ohne Veränderung der Position des DECT – Senders durchzuführen. Die beiden Schneelöcher werden im Folgenden näher beschrieben:

- Schneeloch 1: Lochtiefe 1.25m / Messung 0.9m über Schneedecke, 2.15m über Lochgrund mit horizontaler und vertikaler Antennenhaltung.
- Schneeloch 2: Lochtiefe 2.00m / Messung 1.0m über Schneedecke, 3.00m über Lochgrund mit horizontaler und vertikaler Antennenhaltung. Beim Schneeloch 2 erfolgte eine Differenzierung der Schneeabschirmung in zwei Stufen.

Die nachfolgenden Graphiken (Abbildung 95 und 96) sollen nun die Abschirmung der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung durch den Schnee illustrieren sowie konkrete Zahlenwerte liefern.

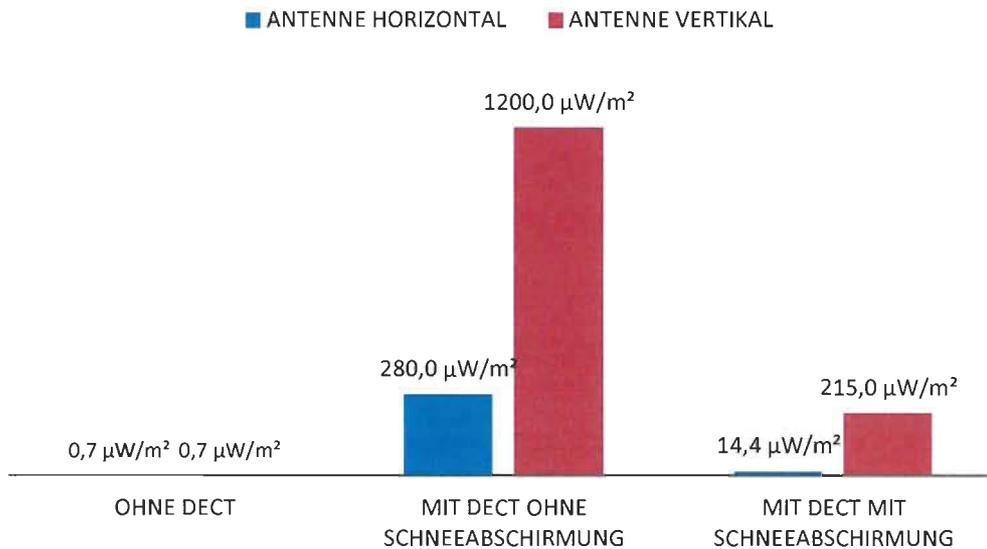


Abbildung 95: Messung der Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee – Schneeloch 1

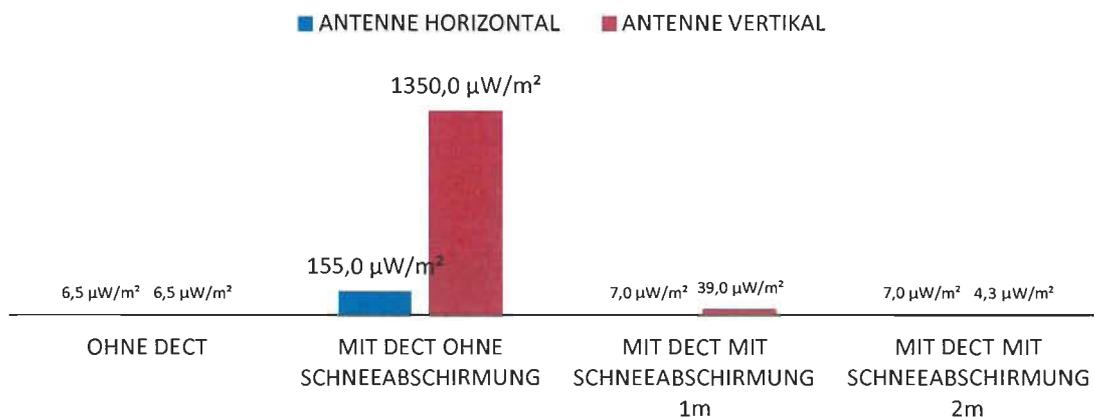


Abbildung 96: Messung der Abschirmung von Mikrowellen durch Schnee – Schneeloch 2

Bei den Feldversuchen zu dieser Thematik konnte eine Abschirmung der hochfrequenten elektromagnetischen Strahlung in Abhängigkeit der Schneehöhe eindeutig festgestellt werden. Ob die Mobilfunkstrahlung ausreichend stark ist, um durch die Schneedecke zu emittieren, konnte im Zuge dieser Arbeit nicht näher überprüft werden. Für die Herstellung eines Lawinendetektionssystems anhand dieses Funktionsschemas sind noch zahlreiche Entwicklungsschritte von Nöten, jedoch erscheint es generell als möglich.

### 3.3.2 Funktionsschema hörbarer Schall

Bei den Feldversuchen am Kitzsteinhorn für das Funktionsschema „hörbarer Schall“ sollte generell überprüft werden, ob Geräusche mittels einfachen Mikrofonen aus dem Elektronikfachmarkt erfasst werden können. Diesbezüglich wurden zwei Versuchsaufbauten durchgeführt, welche im Folgenden näher erklärt werden:

- Versuchsaufbau 1: Vergraben von Mikrofonen in 60cm und 120cm Tiefe / Erzeugung von Geräuschen an der Schneeoberfläche (Gehen, Reden, DECT – Geräusch) / Detektion des Geräusches
- Versuchsaufbau 2: Vergraben eines Mikrofones in 45cm Tiefe unterhalb eines auslösbaren Rutschhanges / Auslösung des Schneerutsches / Detektion des Geräusches

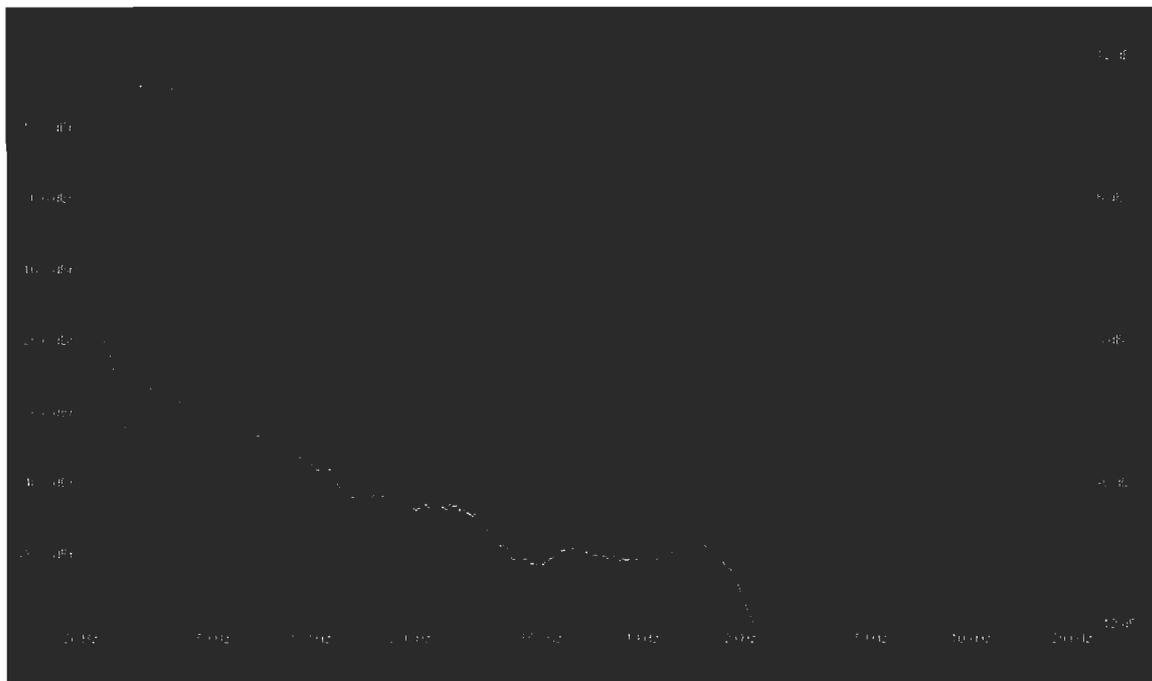
Die nachfolgenden Graphiken (97, 98 und 99) sollen nun die Ergebnisse dieser Versuchsaufbauten veranschaulichen.



**Abbildung 97: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Gehen – 60cm Tiefe**



**Abbildung 98: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Gehen – 120cm Tiefe**



**Abbildung 99: Messung von Geräuschen im hörbaren Frequenzbereich unter der Schneedecke – Schneerutsch (10-15cm mächtig, 3m breit, 12m lang)**

Die in den Abbildungen 97 bis 99 ersichtlichen Zahlen sind keineswegs als Größenindikator für das detektierte Signal zu verstehen. Sie sollen lediglich illustrieren, dass das Geräusch wahrnehmbar und detektierbar war.

Generell konnte das in Kapitel 1.1.1.2 beschriebene Phänomen, dass größere Frequenzen stärker abgeschwächt werden als niedere, eindeutig bestätigt werden. Dies zeigte sich dadurch, dass der vom Frequenz Analyser ausgegebene Ton, welcher sich in einem unangenehm hohen Frequenzbereich befindet, in 60cm Tiefe nicht mehr hörbar war während man das Reden bei vergleichbarem Lautstärkepegel noch eindeutig wahrnehmen konnte.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass die im Zuge dieser Arbeit detektierten Geräusche im Vergleich zu jenen, welche Lawinen normalerweise auslösen, minimal waren. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Entwicklung eines einf. Lawinendetektionssystems auf Basis dieser Technologie als möglich erscheint.

## 4 Diskussion & Ausblick

Die Weiterführung des SLF – Schlussberichtes aus dem Projekt Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) zum Vergleich der Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 mit dem Ziel der Erkennung etwaiger Verbesserungen an den diversen Detektionssystemen brachte ernüchternde Ergebnisse, auch wenn mit dem System IDA ein Infrasondsystem mit großem Potential erstmals unter die Lupe genommen wurde. Die folgende Tabelle soll einen kurzen Überblick über die Ergebnisse bieten:

**Tabelle 13: Zusammenfassung des Vergleiches der Lawinenwinter 2011/2012 und 2012/2013 zur Erkennung etwaiger Verbesserungen. Die Bewertung erfolgte anhand der in Kapitel 3 ersichtlichen Ergebnisse, jedoch stellen die einzelnen Parameter der Tabelle subjektive Werte dar und basieren nicht auf festgelegten Zahlenkriterien.**

Standort	System	Technologie	Verbesserungen	Zuverlässigkeit	Verfügbarkeit	Zukunftschancen
Gonda	ARFANG	Infrasound	keine	unbefriedigend	unbefriedigend	keine weiteren Investitionen, mit Ablaufdatum
Gonda	UHU	Infrasound	-	unbefriedigend	unbefriedigend	möglich, Sensorenstandorte als großes Problem
Gonda	AlpuG Geophon West	Seismik	keine	unbefriedigend	hervorragend	groß, vor allem in Kombination mit Infrasound
Gonda	AlpuG Geophon Ost	Seismik	ja	unbefriedigend	hervorragend	groß, vor allem in Kombination mit Infrasound
Ischgl	Lawinen – Radar	Radar – technologie	keine	hervorragend	hervorragend	groß
Ischgl	IDA	Infrasound	-	unbefriedigend	-	groß, sofern Weiterentwicklung erfolgt

Die anschließende Detailanalyse der diversen Rohdaten brachte sowohl Chancen, als auch Einschränkungen der diversen Detektionssysteme zu Tage.

Mittels Infrasondsystemen erscheint es möglich, Lawinen bis einschließlich der Größe „mittel“ zuverlässig detektieren zu können. Für die Detektion von kleineren Ereignissen müssen optimale Bedingungen vorherrschen. Jedoch stellen Lockerschnee – Nassschneelawinen ein Problem dar, da diesen die infraschallerzeugende turbulente Suspensionsschicht fehlt (vgl. Kogelnig, 2012c). Somit werden diese Ereignisse äußerst schlecht bis nicht detektiert. Die in diesem Absatz erwähnten Grenzen der Infrasonddetektion können als allgemein gültig, unabhängig vom Hersteller des Systems, betrachtet werden.

Das große Problem der seismischen Detektionsanlagen liegt in ihrer geringen Detektionsrate. In Kombination mit Infrasondsystemen offenbaren sie jedoch ihr wahres Potential, da sie die Lockerschnee – Nassschneelawinen, welche bei Detektionsanlagen basierend auf Infrasond zu Problemen führen, erfassen können. Die maximale Amplitude eines seismischen Signals generiert von einer Lawine ist abhängig von deren Größe, Geschwindigkeit, Dichte und dem Abstand zwischen Quelle und Sensor (vgl. Surinach et al., 2001; vgl. Biescas et al., 2003; vgl. Vilajosana et al., 2007 in Kogelnig, 2012c). Des Weiteren erzeugen Nassschneelawinen aufgrund ihrer hohen Dichte und geringen Geschwindigkeit große und lange Signale, während Staublawinen im Vergleich dazu durch ihre geringe Dichte und hohe Geschwindigkeit relativ kleine Signale verursachen (vgl. Biescas et al., 2003). Dadurch werden Nassschneelawinen von Geophonen besser detektiert als Trockenschneeereignisse. Dies zeigte sich auch am Standort Gonda, wo durch die Kombination der Systeme AlpuG und ARFANG, sofern man die unzureichende Software des ARFANGs außer Acht lässt, eine 100 prozentige Detektion möglich wäre, vorausgesetzt man gibt sich mit der Erfassung von Lawinen einschließlich der Größe „mittel“ und größer zufrieden.

Zum momentanen Zeitpunkt stellt das Lawinenradar die einzige Möglichkeit der zuverlässigen Detektion von Lawinen dar, wobei beachtet werden muss, dass diese Detektionsanlage nur einen sehr begrenzten Bereich erfassen kann (vgl. Lussi et al., 2012).

Eine Größenklassifikation der Lawinen anhand der Rohdaten in drei Kategorien erscheint bei allen Systemen als möglich, auch wenn diese beim Lawinenradar am schwierigsten zu realisieren ist. Die in diesem Zusammenhang angegebenen Zahlen sind ausschließlich für die jeweiligen Standorte und Systeme gültig und können nicht übertragen werden.

Eine Differenzierung zwischen Trockenschnee- und Nassschneelawinen konnte nur beim mit Infrasond operierenden System ARFANG erfolgreich durchgeführt werden. Beim Lawinenradar wurde kein Unterschied in den Rohdaten entdeckt, obwohl dies aufgrund des unterschiedlichen Reflexionsverhaltens von trockenem – und nassem Schnee möglich sein müsste (vgl. Hofbauer und Koschuch, 2012). Hier ist sicherlich Platz für zukünftige wissenschaftliche Arbeiten geboten. Beim System AlpuG war der Datenpool leider zu gering, um eine derartige Unterscheidung durchführen zu können. Überraschenderweise konnte auch beim System IDA keine derartige Differenzierung erfolgen. Möglicherweise liegt dies in den unzureichenden Analysemethoden, welche dem Autor zur Verfügung standen, begründet. Es ist jedoch auch durchaus möglich, dass den Rohdaten durch eine Bandfilterung die Frequenzbereiche größer 12 Hertz entfernt wurden (vgl. Ulivieri et al., 2012), welche zur Bestimmung von Nassschneelawinen erforderlich sind.

Eine genaue Bestimmung der Auslauflänge ist lediglich mittels des Lawinenradars und ausschließlich für dessen Sichtbereich möglich.

Die beiden im Zuge dieser Arbeit entwickelten Funktionsschemata für ein einfaches, kostengünstiges Detektionssystem zeigten grundsätzlich auf, dass die Erfassung von Lawinen mit ihnen möglich wäre. Hier wäre der nächste Schritt, jeweils ein geeignetes System zu entwickeln, um es im operativen Betrieb testen zu können. Das Funktionsschema, welches mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung arbeitet, könnte auch zur Messung von Schneehöhen herangezogen werden. Hierzu müsste aber vorab festgestellt werden, ob und wie sich unterschiedliche Schneedichten, Schneekristallformen, etc. auf die Abschirmung der Mikrowellen auswirken.

Im Prinzip erfordern die diversen Detektionsanlagen sowie deren Technologien noch jede Menge an wissenschaftlicher Betätigung. Diese Arbeit gibt einen ersten Überblick, um für Entscheidungsträger in der Lawinenthematik mehr Informationen aus den Detektionsergebnissen herausfiltern zu können. Des Weiteren liefert sie einen Status Quo

über die bis dato verfügbaren Detektionssysteme. Die beiden entwickelten Funktionsschemata sollen künftige Diplomanden und Wissenschaftler dazu anregen, sich im Kontext der Lawinendetektion zu betätigen, um dieses wichtige Thema vorantreiben zu können.

Sämtliche Auswertungen und Analysen wurden nach bestem Wissen und Gewissen sowie verfügbarem Datenmaterial durchgeführt. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass die Datenauswertung bei jenen Systemen, deren Betriebsdauer sich erst auf ein oder zwei Lawinenwinter erstreckt, nicht die gleiche Qualität bieten kann wie bei den restlichen Anlagen.

## 5 Zusammenfassung

Durch das steigende Kostenbewusstsein sowie die immer besser werdenden Kenntnisse bei der künstlichen Lawinenauslösung gewinnt diese insbesondere für touristische und infrastrukturelle Zwecke immer mehr an Bedeutung. Bei der künstlichen Lawinenauslösung ist es von enormer Wichtigkeit, über den Erfolg der Sprengung Bescheid zu wissen, unabhängig von der Tageszeit und Witterung. Deshalb wurden in den letzten Jahren spezielle Lawinendetektionsanlagen erfunden, um den Erfolg der künstlichen Lawinenauslösung validieren zu können. Zur Überwachung einzelner Lawinenzüge gibt es schon seit längerem erprobte Systeme und Alarmanlagen (vgl. Lussi et al., 2012). Diese Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit Detektionsapplikationen, welche für größere Geländeabschnitte geeignet sind oder zumindest das Potential dazu besitzen.

Laut dem SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) ließen sich bis Ende des Lawinenwinters 2011/2012 ausschließlich mittels der Radartechnologie Lawinen zuverlässig detektieren. Ein Teil dieser Arbeit beschäftigte sich somit mit der Fortführung des eben erwähnten Berichtes und ging der Frage nach, ob bei den in Ischgl und Gonda stationierten Detektionsanlagen Verbesserungen bzw. Weiterentwicklungen zwischen den Lawinenwintern 2011/2012 und 2012/2013 erkennbar sind.

Für die Entscheidungsträger in der Lawinenthematik wäre es äußerst hilfreich, wenn diese aus den Rohdaten der Detektionsanlagen weitere Informationen hinsichtlich Lawinengröße, Lawinenart, Auslauflänge, etc. erhalten könnten. Deshalb wurden durch Personen vor Ort validierte Lawinen mit den Rohdaten verglichen und versucht, innerhalb dieser Muster erkennen zu können. In diesem Zusammenhang wurden auch Grenzen sowie Chancen für die jeweiligen Systeme aufgezeigt.

Zu guter Letzt war es das Ziel, zwei einfache und kostengünstige Funktionsschemata für Lawinendetektionssysteme aufzuzeigen. Dabei kamen Technologien zur Verwendung, welche bisher in der Lawinendetektion keine Berücksichtigung fanden. Um diese Funktionsschemata zu validieren, wurden einfache Testanlagen entwickelt und anschließend bei Feldversuchen am Kitzsteinhorn überprüft.

Im Zuge dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die Systeme, welche bereits im SLF – Schlussbericht des Projektes Lawinendetektion (Lussi et al., 2012) Erwähnung fanden, kaum

bzw. unzureichend weiterentwickelt wurden. Das Lawinenradar stellt somit weiterhin die bis dato einzige Anlage dar, welche Lawinen zuverlässig detektieren kann. Diesbezüglich sei aber vermerkt, dass dies nur für einen sehr begrenzten räumlichen Bereich möglich ist.

Generell erscheint es als realisierbar, einen größeren Bereich mittels einer Kombination aus Infrasoundsensoren und Geophonen/Seismometern zu detektieren. Leider ist eine praxistaugliche Umsetzung an der zu wenig fortgeschrittenen Software der Detektionsapplikationen, welche auf Infraschall basieren, bisher gescheitert. Mit dem System IDA könnte dies aber bereits in Kürze möglich werden.

Im Zusammenhang mit Detektionsanlagen basierend auf Infraschall und Seismik muss man generell akzeptieren, dass Lawinen erst ab der Größe „mittel“ erfasst werden können. Kleinere Ereignisse sind nur bei optimalen Bedingungen detektierbar.

Eine Größenklassifikation in drei Kategorien erscheint mit allen Systemen als möglich. Die Auslauflänge lässt sich lediglich mit dem Radar, sofern die Lawine den Sichtbereich nicht überschreitet, einigermaßen genau detektieren. Eine Differenzierung zwischen den Lawinenarten nass und trocken konnte ausschließlich mit dem System ARFANG erfolgen. Generell sollte dies auch mit den anderen Systemen möglich sein, scheiterte aber an diversen Faktoren.

Die beiden im Zuge dieser Arbeit entwickelten Funktionsschemata konnten bei den Feldversuchen überzeugen, benötigen jedoch noch enorme wissenschaftliche Betätigung, um für die Lawinendetektion eingesetzt werden zu können.

Summa summarum befindet sich noch keine Lawinendetektionsanlage, außer dem Lawinenradar, in einem praxistauglichen Zustand. Bei fehlenden finanziellen Ressourcen des Herstellers ist ein System zum Scheitern verurteilt. Der Bedarf an weiteren Informationen aus den Rohdaten der Detektionsanlagen kann mit Sicherheit gedeckt werden. Diesbezüglich ist allerdings wiederum entsprechendes finanzielles Kapital der Hersteller von Nöten, da die Software um entsprechende Applikationen erweitert werden muss.

Für kommende wissenschaftliche Arbeiten stellen die beiden Funktionsschemata sicherlich ein interessantes Themenfeld dar, wobei diese erst über einen längeren Zeitraum getestet werden müssten, um deren wahres Potential erfassen zu können.

## 6 Literaturverzeichnis

ADAM, V.; CHRITIN, V.; ROSSI, M.; VAN LANCKER, E. (1998): Infrasonic monitoring of snow – avalanche activity: what do we know and where do we go from here?, in: *Annals of Glaciology*, 1998, H. 26, S. 324 - 328

ALBERT, D.G. und ORCUTT J.A. (1989): Observations of low-frequency acoustic-to-seismic coupling in the summer and winter, in: *Acoustical Society of America*, 1989, H. 86, S. 352-359

ALBERT, D.G. und ORCUTT J.A. (1990): Acoustic pulse propagation above grassland and snow: Comparison of theoretical and experimental waveforms, in: *Acoustical Society of America*, 1990, H. 87, S. 93-100

ALBERT, D.G. (2003): Observations of acoustic surface waves in outdoor sound propagation, in: *Acoustical Society of America*, 2003, H. 113, S. 2496-2500

ALBERT, D.G.; DECATO, S.N.; CARBEE D.L. (2008): Snow cover effects on acoustic sensors, in: *Cold Regions Science and Technology*, 2008, H. 52, S. 132-145

ARROWSMITH, S.J.; JOHNSON, J.B.; DROB, D.P.; HEDLIN M.A.H. (2010): The seismoacoustic wavefield: A new paradigm in studying geophysical phenomena, in: *Reviews of Geophysics*, 2010, H. 48

BIESCAS, B.; DUFOUR, F.; FURDADA, G.; KHAZARADZE, G.; SURINACH, E. (2003): Frequency Content Evolution of Snow Avalanche Seismic Signals, in: *Surveys in Geophysics*, 2003, H. 24, S. 447 - 464

BRAILE, L. (2010): Seismic Wave Demonstrations and Animations. Veröffentlicht Department of Earth & Atmospheric Sciences an der Purdue University, URL: <<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm>> (22.10.2013)

BURKARD, A. und GAUDERON, A. (2008): Detektionssysteme bei künstlicher Lawinenauslösung. Veröffentlicht von der Schweizerischen Interessensgemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS), URL: <[http://www.sils-ch.ch/doc/Vortrag\\_Detektionssysteme2008\\_Projektskizze.pdf](http://www.sils-ch.ch/doc/Vortrag_Detektionssysteme2008_Projektskizze.pdf)> (12.11.2013)

EGLI, L. (2006): Detektion nach künstlicher Lawinenauslösung. Veröffentlicht von der Schweizerischen Interessensgemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS), URL: <[http://www.sils-ch.ch/doc/Detektion\\_nach\\_kuenstlLawiAusl.pdf](http://www.sils-ch.ch/doc/Detektion_nach_kuenstlLawiAusl.pdf)> (12.11.2013)

EVANS, L.B.; BASS, H.E.; SUTHERLAND, L.C. (1972): Atmospheric Absorption of Sound, in: *Acoustical Society of America*, 1972, H. 51, S. 1565-1575

EVERS, L.G. und HAAK, H.W. (2010): The Characteristics of Infrasound, its Propagation and Some Early History, in: *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*, (Hrsg. Le Pichon, A.; Blanc, E.; Hauchecorne, A.), Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, S. 3-27

GAUER, P.; ISSLER, D.; LIED, K.; KRISTENSEN, K.; SANDERSEN, F. (2008): On snow avalanche flow regimes: Inferences from observations and measurements, in: Internationals Snow Science Workshop, 2008, S. 717 - 723

GUBLER, H. (1999): Lawinen-, Murgang- und Felssturz Alarmanlagen. Veröffentlicht von AlpuG GmbH in Davos Platz, URL: <[http://www.alpug.ch/pdf/pdf\\_11\\_de.htm](http://www.alpug.ch/pdf/pdf_11_de.htm)> (12.11.2013)

GUBLER, H. (2012a): Messungen\_20\_22\_1\_2012 Zusammenfassungen. Übermittelt von AlpuG GmbH in Davos Platz, 4 S.

GUBLER, H. (2012b): Seismische Lawinendetektionsanlagen. Übermittelt von AlpuG GmbH in Davos Platz, 4 S.

GUBLER, H. (2013): Kostenzusammenstellung Lawinendetektionsanlagen Gonda. Übermittelt von AlpuG GmbH in Davos Platz, 1 S.

HOFBAUER, G.; KOSCHUCH, R. (2012): Das H&S Impuls – Doppler – Radar. Veröffentlicht von der H&S Hochfrequenztechnik GmbH in Grambach, URL: <<http://www.avalancheradar.com/downloads/Lawinenradar-Funktion.pdf>> (25.10.2013)

H&S HOCHFREQUENZTECHNIK GMBH (s.a.a): Preisliste Lawinen- Geröll- und Murenabgangsradar, URL: < [http://www.avalancheradar.com/images/downloads/HS\\_Preisliste\\_Lawinenradar.pdf](http://www.avalancheradar.com/images/downloads/HS_Preisliste_Lawinenradar.pdf)> (26.10.2013)

H&S HOCHFREQUENZTECHNIK GMBH (s.a.b): Radartechnik. Veröffentlicht von der H&S Hochfrequenztechnik GmbH in Grambach, URL: <<http://www.avalancheradar.com/images/downloads/lawinenradar3.pdf>> (12.11.2013)

HÜBL J.; KOSCHUCH R.; PICHLER J. (2012): IAN Report 149 (Band 1): Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik, Veröffentlicht vom Institut für alpine Naturgefahren an der Universität für Bodenkultur Wien, URL: <[http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/\\_/H87/H871/IAN\\_Reports/REP0149\\_Band1.pdf](http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/_/H87/H871/IAN_Reports/REP0149_Band1.pdf)> (25.10.2013)

IAV Engineering (2006): Arfang, Referenzbetrieb in Täsch (Zermatt). Veröffentlicht von IAV Engineering in der Schweiz, URL: <[http://www.iav.ch/files/arf/arfang07\\_de.pdf](http://www.iav.ch/files/arf/arfang07_de.pdf)> (12.11.2013)

IGEL, I. (2012): Measuring Distance with Sound Waves. Veröffentlicht vom Polytechnic Institute an der New York University, URL: < [http://www.teachengineering.org/view\\_activity.php?url=collection/nyu\\_/activities/nyu\\_soundwaves/nyu\\_soundwaves\\_activity1.xml](http://www.teachengineering.org/view_activity.php?url=collection/nyu_/activities/nyu_soundwaves/nyu_soundwaves_activity1.xml)> (21.10.2013)

IGEL, H. (2012): Seismische Wellen. Veröffentlicht vom Department für Geo- und Umweltwissenschaften an der Ludwig-Maximilians-Universität München, URL:<[http://www.geophysik.uni-muenchen.de/~igel/Lectures/AG-I/3\\_apl\\_seismischewellen.pdf](http://www.geophysik.uni-muenchen.de/~igel/Lectures/AG-I/3_apl_seismischewellen.pdf)> (22.10.2013)

Item Geophysics (2013): Snow Avalanches Monitoring, URL: <[http://www.item-geophysics.it/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=135](http://www.item-geophysics.it/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=135)> (25.10.2013)

ITWissen (2013): OTDR (optical time domain reflectometry), URL:<<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/optical-time-domain-reflectometry-OTDR-Optische-Reflektometrie.html>> (24.10.2013)

KINDSCHI, C. (2010): Lawinendetektion mit Infraschallmikrofonen, Maturaarbeit am Hochalpinen Institut Ftan, Ftan, 21 S.

KINDSCHI, J. (s.a.): Künstliche Lawinenauslösung Gonda. Veröffentlicht von der Schweizerischen Interessensgemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS), URL: <[http://www.sils-ch.ch/doc/Vortrag\\_kLAL-Gonda.pdf](http://www.sils-ch.ch/doc/Vortrag_kLAL-Gonda.pdf)> (12.11.2013)

KOGELNIG, A. (2012a): Aktennotiz Infraschall Detektionssystem Ischgl. Übermittelt von Arnold Kogelnig, 4 S.

KOGELNIG, A. (2012b): Artificial release and detection of avalanches: Managing avalanche risk on traffic infrastructures, a case study from Austria, in: International Snow Science Workshop, 2012, S. 535 - 540

KOGELNIG, A. (2012c): Development of acoustic monitoring for alpine mass movements, Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien, 208 S.

KOPP, K.H. (2004): Bauanleitung für Infraschallmikrofon, Veröffentlicht von der Interessensgemeinschaft zur Aufklärung des Brummtons e.V. (IGZAB), URL: <<http://www.milieuziektes.nl/ELF/www.brummt.de%20-%20Brummtton%20im%20Ohr%20-%20Bausatz%20Infraschallmikrofon.pdf>> (02.11.2013)

KOPP, K.H. (2006): Bauanleitung für Mikrofonvorverstärker Preamp2 Version 2006 Trimmer, Veröffentlicht auf [www.brummtton.de](http://www.brummtton.de), URL: <[http://www.derbrummtton.de/pdfdaten/Preamp2\\_V2006.pdf](http://www.derbrummtton.de/pdfdaten/Preamp2_V2006.pdf)> (02.11.2013)

LAWINENWARNDIENST TIROL (2013): Glossary snow and avalanches, Veröffentlicht von European Avalanche Warning Services, URL: <<http://www.avalanches.org/basics/glossar-de/>> (01.11.2013)

LE PICHON, A.; BLANC, E.; HAUCHECORNE A. (2010): Introduction, in: Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, (Hrsg. Le Pichon, A.; Blanc, E.; Hauchecorne, A.), Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, S. ix-x

LINDENMANN, M.; LEIMER, H.P.; RUSTEBERG, C. (s.a.): Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, Veröffentlicht von der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim, URL: <[http://www.building-physics.net/webfm\\_send/331](http://www.building-physics.net/webfm_send/331)> (26.10.2013)

LUSSI, D. (2010): Lawinendetektion – Testwinter 2009/2010. Veröffentlicht vom WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos, 23 S.

LUSSI, D.; SCHOCH, M.; MEIER, L.; RUESCH, M. (2012): Projekt Lawinendetektion – Schlussbericht. Veröffentlicht vom WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos, URL: <[http://www.avalancheradar.com/images/downloads/Lawinendetektion\\_Schlussbericht.pdf](http://www.avalancheradar.com/images/downloads/Lawinendetektion_Schlussbericht.pdf)> (12.11.2013)

McClung, D. und Schaerer, P. (2006): The Avalanche Handbook, The Mountaineers, Leicester, 342 S.

MEIER, L. und LUSSI, D. (2010): Remote detection of snow avalanches in Switzerland using infrasound, doppler radars and geophones, in: International Snow Science Workshop, 2010, S. 7 – 12

MEIER, L. und LUSSI, D. (2011): Lawinendetektion Testwinter 2010/2011. Veröffentlicht vom WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos, 16 S.

ONR 24805 (2009): Permanent technischer Lawinenschutz – Benennung und Definition sowie statische und dynamische Einwirkungen, Veröffentlicht vom Österreichischen Normungsinstitut ON in Wien, URL: <<http://www.onnorm.at>> (27.11.2013)

PILGER, C. und BITTNER, M. (2009): Infrasound from tropospheric sources: Impact on mesopause temperature?, in: Journal of Atmospheric and Solar – Terrestrial Physics, 2009, H. 71, S. 816 – 822

PONCEAU, D. und BOSCA, L. (2010): Low – Noise Broadband Microbarometers, in: Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, (Hrsg. Le Pichon, A.; Blanc, E.; Haucheron, A.), Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, S. 119 - 140

PROKOP A.; WIRBEL A.; JUNGMAJR M. (2013): The “Avalanche Detector”, a new avalanche monitoring tool using distributed acoustic fibre optic sensing, in: International Snow Science Workshop Grenoble – Charmonix Mont-Blanc, 2013, S. 1027-1032

RAINER, E. (s.a.): Schutzmaßnahmen/Permanente Schutzmaßnahmen/Temporäre Schutzmaßnahmen. Veröffentlicht vom Institut für Naturgefahren am Bundesforschungszentrum für Wald, URL: <<http://bfw.ac.at/db/bfwcms.web?dok=5752>> (20.10.2013)

SCHNEIDER, D.; BARTELT, P.; CAPLAN-AUERBACH, J.; CHRISTEN, M.; HUGGEL, C.; McARDELL, B.W. (2010): Insights into rock-ice avalanche dynamics by combined analysis of seismic recordings and a numerical avalanche model, in: Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2010, H. 115

- SCHOCH, M. (2012): Rückblick Projekt Lawinendetektion. Veröffentlicht vom WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos, URL: <[http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/downloads/04-Schoch\\_Marcel\\_SLF.pdf](http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/downloads/04-Schoch_Marcel_SLF.pdf)> (12.11.2013)
- SCHOCH, M. (2013): Kurzbericht Gonda. Übermittelt von Marcel Schoch (WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in Davos), 12 S.
- SOVILLA, B.; KERN, M.; SCHAER, M. (2010): Slow drag in wet-snow avalanche flow, in: Journal of Glaciology, 2010, H. 56, S. 587 - 592
- STANKOWSKI, S. (s.a.): Geometrische Optik. Veröffentlicht von der Berner Fachhochschule, URL: < [https://prof.hti.bfh.ch/fileadmin/home/sss1/E1\\_Physik\\_Physique/OPTIK\\_e1.pdf](https://prof.hti.bfh.ch/fileadmin/home/sss1/E1_Physik_Physique/OPTIK_e1.pdf)> (26.10.2013)
- SURINACH, E.; SABOT, F.; FURDADA, G.; VILAPLANA, J.M. (2000): Study of seismic signals of artificially released snow avalanches for monitoring purposes, in: Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 2000, H. 25, S. 721 – 727
- SURINACH, E.; FURDADA, G.; SABOT, F.; BIESCAS, B.; VILAPLANA, J.M. (2001): On the characterization of seismic signals generated by snow avalanches for monitoring purposes, in: Annals of Glaciology, 2001, H. 32, S. 268 - 274
- SURINACH, E.; VILAJOSANA, I.; KLEEMAYR, K.; RAMMER, L. (2011): Study of the wavefield generated by a gas exploder used for artificial avalanche release, in: Cold Regions Science and Technology, 2011, H. 66, S. 17-29
- THORNE, L. und WALLACE, T. (1995): Modern Global Seismology, Academic Press, San Diego London, 521 S.
- ULIVIERI, G.; MARCHETTI, E.; RIPEPE, M.; CHIAMBRETTI I.; DE ROSA G.; SEGOR V. (2011): Monitoring snow avalanches in Northwestern Italian Alps using an infrasound array, in: Cold Regions Science and Technology, 2011, H. 69, S. 177-183
- VILAJOSANA, I.; SURINACH, E.; KHAZARADZE, G.; GAUER, P. (2007): Snow avalanche energy estimation from seismic signal analysis, in: Cold Regions Science and Technology, 2007, H. 50, S. 72-85
- VIRNICH, M.H. (2004): Mobilfunk in Liechtenstein. Veröffentlicht von der Landesverwaltung Fürstentum Liechtenstein, URL: < [http://www.llv.li/pdf-llv-ak-mobilfunk04-vortrag\\_virnich-2.pdf](http://www.llv.li/pdf-llv-ak-mobilfunk04-vortrag_virnich-2.pdf)> (26.10.2013)
- WALKER, K.T.; HEDLIN M.A.H. (2010): A Review of Wind-Noise Reduction Methodologies, in: Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, (Hrsg. Le Pichon, A.; Blanc E.; Haucherone, A.), Springer, Dordrecht Heidelberg London New York, S. 141 - 182

WEIHARD, S. (2010): Radarsensorik in der Fahrzeugtechnik. Veröffentlicht von der FernUniversität in Hagen, URL: <[http://www.fernuni-hagen.de/imperia/md/content/fakultaetfuermathematikundinformatik/agjob/vortrag\\_weihard.pdf](http://www.fernuni-hagen.de/imperia/md/content/fakultaetfuermathematikundinformatik/agjob/vortrag_weihard.pdf)> (23.10.2013)

WOLFF, C. (2012): Radargrundlagen. Veröffentlicht auf [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) in Neubrandenburg, URL:< <http://www.radartutorial.eu/druck/Buch1.pdf>> (23.10.2013)

WOLFF, C. (s.a.a): Doppler – Effekt. Veröffentlicht auf [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) in Neubrandenburg, URL: <<http://www.radartutorial.eu/11.coherent/co06.de.html>> (23.10.2013)

WOLFF, C. (s.a.b): Gerätetechnik. Veröffentlicht auf [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) in Neubrandenburg, URL: <<http://www.radartutorial.eu/druck/Buch2.pdf>> (23.10.2013)

WOLFF, C. (s.a.c): Pulskompression. Veröffentlicht auf [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) in Neubrandenburg, URL: <<http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/tx17.de.html>> (23.10.2013)

WOLFF, C. (s.a.d): Wellenausbreitung. Veröffentlicht auf [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu) in Neubrandenburg, URL: <<http://www.radartutorial.eu/druck/Wellenausbreitung.pdf>> (23.10.2013)

WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (2013): Wissenswertes über Lawinen, URL: < [http://www.slf.ch/praevention/ueberlawinen/index\\_DE](http://www.slf.ch/praevention/ueberlawinen/index_DE)> (31.10.2013)

## 7 ANHANG

### Inhalt

1	Auswertungen für das Kapitel 3: Ergebnisse .....	1
1.1	Auswertung ARFANG .....	1
1.2	Auswertung UHU .....	10
1.3	Auswertung AlpuG .....	11
1.4	Auswertung IDA .....	13
1.5	Auswertung Lawinenradar .....	15
1.6	Detailanalyse der detektierten Lawinen – ARFANG .....	16
1.7	Detailanalyse der nicht detektierten Lawinen – ARFANG .....	17
1.8	Detailanalyse der detektierten Lawinen – IDA .....	18
1.9	Detailanalyse der nicht detektierten Lawinen – IDA .....	18
1.10	Detailanalyse der detektierten Lawinen – Lawinenradar .....	19
2	Tabelle Emanuele Marchetti – IDA .....	20
3	Bauanleitung für den Mikrofonvorverstärker .....	23

### ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2011/2012 – Gonda - ARFANG .....	1
Tabelle 2: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - ARFANG .....	7
Tabelle 3: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - UHU10	
Tabelle 4: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - AlpuG .....	11
Tabelle 5: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 (ohne Radaralarmlage) – Ischgl - IDA .....	13
Tabelle 6: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 (mit Radaralarmen) – Ischgl - IDA .....	14
Tabelle 7: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Ischgl - Lawinenradar .....	15
Tabelle 8: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, detektierte Ereignisse – Gonda - ARFANG .....	16
Tabelle 9: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, nicht detektierte Ereignisse – Gonda - ARFANG .....	17
Tabelle 10: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, detektierte Ereignisse – Ischgl - IDA .....	18
Tabelle 11: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, nicht detektierte Ereignisse – Ischgl - IDA .....	18
Tabelle 12: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, detektierte Ereignisse – Ischgl - Lawinenradar .....	19



# 1 Auswertungen für das Kapitel 3: Ergebnisse

## 1.1 Auswertung ARFANG

Tabelle 1: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2011/2012 – Gonda - ARFANG

Datum	Uhrzeit (GMT+1)		Bestätigter Lawinenabgang	Unsicherer Lawinenabgang		Fehldetektion	Nicht erfasster Lawinenabgang
	von	bis		möglich	unwahrscheinlich		
8.12.2011	05:15	10:30					3
15.12.2011	20:08	20:08				1	
15.12.2011	20:08	20:08				1	
16.12.2011	06:30	06:30			1		
16.12.2011	15:31	15:31				1	
17.12.2011	12:04	12:04			1		
18.12.2011	20:06	20:06				1	
19.12.2011	10:28	10:28				1	
19.12.2011	13:52	13:52			1		
19.12.2011	13:54	13:54				1	
19.12.2011	16:05	16:05				1	
19.12.2011	16:09	16:09				1	
20.12.2011	12:07	12:07				1	
20.12.2011	17:07	17:07				1	
21.12.2011	10:14	10:14				1	
21.12.2011	10:15	10:15				1	
21.12.2011	10:16	10:16				1	
21.12.2011	10:31	10:31				1	
21.12.2011	10:32	10:32				1	
21.12.2011	12:19	12:19		1			
21.12.2011	12:30	12:30		1			
21.12.2011	13:55	13:55				1	
22.12.2011	05:29	05:29	1				
22.12.2011	11:14	11:14		1			
22.12.2011	12:16	12:16		1			
22.12.2011	12:24	12:24				1	
22.12.2011	13:39	13:39				1	
22.12.2011	13:53	13:53				1	
22.12.2011	14:08	14:08		1			
22.12.2011	14:53	14:53				1	
22.12.2011	15:05	15:05		1			
22.12.2011	15:16	15:16				1	
22.12.2011	15:18	15:18				1	
22.12.2011	16:08	16:08		1			
22.12.2011	17:51	17:51				1	
22.12.2011	18:05	18:05		1			
22.12.2011	18:18	18:18				1	
22.12.2011	22:14	22:14				1	

ANHANG

23.12.2011	00:54	00:54		1			
23.12.2011	04:59	04:59	1				
23.12.2011	05:02	05:02	1				
23.12.2011	05:08	05:08	1				
23.12.2011	05:11	05:11	1				
23.12.2011	05:14	05:14	1				
23.12.2011	05:17	05:17	1				
23.12.2011	05:20	05:20	1				
23.12.2011	07:00	07:00				1	
25.12.2011	12:17	12:17			1		
25.12.2011	12:45	12:45				1	
25.12.2011	13:26	13:26				1	
25.12.2011	22:05	22:05				1	
25.12.2011	23:07	23:07				1	
30.12.2011	08:05	08:05				1	
31.12.2011	04:49	04:49		1			
31.12.2011	04:59	04:59					1
31.12.2011	05:04	05:04					1
31.12.2011	05:14	05:14		1			
31.12.2011	05:19	05:19					1
31.12.2011	19:44	19:44		1			
31.12.2011	19:45	19:45		1			
31.12.2011	19:47	19:47		1			
01.01.2012	05:02	05:02				1	
01.01.2012	14:49	14:49				1	
02.01.2012	00:00	00:00				1	
02.01.2012	00:24	00:24				1	
02.01.2012	13:53	13:53				1	
03.01.2012	00:37	00:37				1	
03.01.2012	11:28	11:28				1	
03.01.2012	11:29	11:29				1	
04.01.2012	00:35	00:35				1	
04.01.2012	10:16	10:16				1	
04.01.2012	10:28	10:28		1			
04.01.2012	21:54	21:54				1	
04.01.2012	22:55	22:55				1	
05.01.2012	00:20	00:20				1	
05.01.2012	12:51	12:51		1			
05.01.2012	13:10	13:10				1	
05.01.2012	15:41	15:41				1	
05.01.2012	16:11	16:11		1			
05.01.2012	16:26	16:26		1			
05.01.2012	17:01	17:01				1	
05.01.2012	17:05	17:05				1	
05.01.2012	17:21	17:21				1	
05.01.2012	20:16	20:16	1				
05.01.2012	20:20	20:20		1			
05.01.2012	20:23	20:23	1				
05.01.2012	20:24	20:24					1
05.01.2012	20:25	20:25					1
05.01.2012	20:27	20:27					1
05.01.2012	23:20	23:20		1			
05.01.2012	23:28	23:28		1			
06.01.2012	02:56	02:56				1	
06.01.2012	05:18	05:18					1

06.01.2012	05:30	05:30	1				
06.01.2012	12:48	12:48				1	
06.01.2012	14:37	14:37		1			
06.01.2012	14:56	14:56		1			
06.01.2012	18:05	18:05		1			
06.01.2012	19:28	19:28		1			
06.01.2012	21:24	21:24		1			
06.01.2012	21:26	21:26	1				
06.01.2012	21:28	21:28		1			
06.01.2012	21:40	21:40		1			
06.01.2012	21:41	21:41	1				
06.01.2012	21:43	21:43					1
06.01.2012	21:44	21:44					1
06.01.2012	21:50	21:50					1
06.01.2012	22:56	22:56				1	
06.01.2012	22:59	22:59		1			
06.01.2012	23:29	23:29				1	
06.01.2012	23:47	23:47		1			
07.01.2012	03:32	03:32				1	
08.01.2012	05:22	05:22	1				
08.01.2012	05:28	05:28		1			
08.01.2012	05:33	05:33	1				
08.01.2012	05:36	05:36					1
08.01.2012	05:42	05:42					1
08.01.2012	06:51	06:51		1			
08.01.2012	10:01	10:01				1	
08.01.2012	12:25	12:25				1	
08.01.2012	19:53	19:53				1	
08.01.2012	21:14	21:14					1
08.01.2012	21:16	21:16					1
08.01.2012	21:17	21:17	1				
08.01.2012	21:20	21:20	1				
08.01.2012	21:21	21:21		1			
08.01.2012	21:22	21:22	1				
08.01.2012	21:24	21:24					1
10.01.2012	08:46	08:46				1	
10.01.2012	13:26	13:26				1	
10.01.2012	13:47	13:47				1	
10.01.2012	14:23	14:23				1	
10.01.2012	18:30	18:30				1	
11.01.2012	12:19	12:19				1	
14.01.2012	00:47	00:47				1	
14.01.2012	00:48	00:48				1	
14.01.2012	20:11	20:11				1	
15.01.2012	00:29	00:29				1	
16.01.2012	12:17	12:17				1	
16.01.2012	17:59	17:59				1	
17.01.2012	19:37	19:37				1	
18.01.2012	10:48	10:48				1	
18.01.2012	12:26	12:26				1	
18.01.2012	12:27	12:27				1	
18.01.2012	13:55	13:55				1	
19.01.2012	12:52	12:52				1	
19.01.2012	19:03	19:03				1	
19.01.2012	22:42	22:42				1	

ANHANG

20.01.2012	03:52	03:52				1	
20.01.2012	17:21	17:21	1				
20.01.2012	17:29	17:29					1
20.01.2012	17:32	17:32		1			
20.01.2012	21:08	21:08		1			
21.01.2012	04:54	04:54	1				
21.01.2012	04:58	04:58	1				
21.01.2012	05:03	05:03	1				
21.01.2012	05:07	05:07	1				
21.01.2012	05:10	05:10	1				
21.01.2012	05:52	05:52				1	
21.01.2012	05:52	05:52				1	
21.01.2012	7:18	7:18		1			
21.01.2012	9:14	9:14		1			
21.01.2012	10:12	10:12		1			
21.01.2012	11:01	11:01				1	
21.01.2012	11:04	11:04		1			
21.01.2012	11:07	11:07		1			
21.01.2012	11:19	11:19		1			
21.01.2012	11:25	11:25		1			
21.01.2012	11:26	11:26				1	
21.01.2012	11:29	11:29		1			
21.01.2012	12:03	12:03		1			
21.01.2012	13:16	13:16				1	
21.01.2012	13:50	13:50				1	
21.01.2012	14:27	14:27				1	
21.01.2012	17:31	17:31				1	
21.01.2012	19:15	19:15	1				
21.01.2012	19:24	19:24					1
21.01.2012	19:26	19:26					1
21.01.2012	19:30	19:30					1
21.01.2012	19:32	19:32		1			
21.01.2012	19:33	19:33					1
21.01.2012	19:50	19:50				1	
22.01.2012	05:07	05:07					1
22.01.2012	05:09	05:09					1
23.01.2012	17:34	17:34				1	
24.01.2012	11:04	11:04				1	
24.01.2012	17:59	17:59	1				
24.01.2012	19:58	19:58				1	
24.01.2012	20:03	20:03				1	
25.01.2012	05:15	05:15					1
25.01.2012	05:19	05:19					1
25.01.2012	05:22	05:22					1
25.01.2012	05:25	05:25					1
25.01.2012	05:34	05:34					1
25.01.2012	12:15	12:15				1	
25.01.2012	14:01	14:01				1	
25.01.2012	16:30	16:30				1	
25.01.2012	16:32	16:32				1	
26.01.2012	15:59	15:59				1	
26.01.2012	21:33	21:33				1	
26.01.2012	21:47	21:47				1	
27.01.2012	10:33	10:33				1	
28.01.2012	22:51	22:51				1	

ANHANG

29.01.2012	19:14	19:14				1	
01.02.2012	09:46	09:46				1	
01.02.2012	09:47	09:47				1	
01.02.2012	09:51	09:51				1	
01.02.2012	11:43	11:43				1	
01.02.2012	12:09	12:09				1	
01.02.2012	14:19	14:19				1	
01.02.2012	17:29	17:29				1	
02.02.2012	08:42	08:42				1	
02.02.2012	18:59	18:59				1	
03.02.2012	10:03	10:03				1	
03.02.2012	10:14	10:14		1			
05.02.2012	01:45	01:45				1	
05.02.2012	12:21	12:21				1	
05.02.2012	12:31	12:31				1	
06.02.2012	11:46	11:46				1	
06.02.2012	11:48	11:48				1	
06.02.2012	11:51	11:51				1	
06.02.2012	13:56	13:56				1	
06.02.2012	13:58	13:58				1	
06.02.2012	16:28	16:28				1	
06.02.2012	16:35	16:35				1	
07.02.2012	05:52	05:52				1	
07.02.2012	10:06	10:06				1	
07.02.2012	10:08	10:08				1	
07.02.2012	10:08	10:08				1	
07.02.2012	19:41	19:41				1	
08.02.2012	00:14	00:14				1	
08.02.2012	13:26	13:26				1	
08.02.2012	17:02	17:02				1	
10.02.2012	14:00	14:00				1	
13.02.2012	09:59	09:59				1	
13.02.2012	13:33	13:33				1	
13.02.2012	13:35	13:35				1	
13.02.2012	13:39	13:39				1	
14.02.2012	08:46	08:46				1	
14.02.2012	17:07	17:07				1	
14.02.2012	21:57	21:57			1		
14.02.2012	23:05	23:05				1	
15.02.2012	20:15	20:15		1			
15.02.2012	21:36	21:36				1	
16.02.2012	05:16	05:29					4
16.02.2012	17:05	17:05				1	
16.02.2012	19:36	19:36				1	
23.02.2012	20:49	20:49				1	
24.02.2012	14:30	14:30		1			
24.02.2012	22:17	22:17			1		
27.02.2012	21:37	21:37				1	
01.03.2012	15:42	15:42		1			
02.03.2012	12:36	12:36	1				
02.03.2012	13:04	13:04	1				
02.03.2012	16:06	16:06	1				
02.03.2012	17:14	17:14					1
02.03.2012	17:17	17:17					1
02.03.2012	17:18	17:18	1				

02.03.2012	17:20	17:20	1				
02.03.2012	17:22	17:22					1
02.03.2012	17:24	17:24	1				
02.03.2012	17:25	17:25					1
02.03.2012	17:27	17:27	1				
04.03.2012	07:19	07:19				1	
04.03.2012	07:38	07:38				1	
06.03.2012	18:24	18:24				1	
06.03.2012	22:41	22:41				1	
07.03.2012	09:42	09:2				1	
07.03.2012	21:23	21:23				1	
08.03.2012	01:29	01:29				1	
08.03.2012	12:10	12:10				1	
08.03.2012	20:30	20:30				1	
08.03.2012	22:20	22:20				1	
09.03.2012	02:12	02:12		1			
20.03.2012	12:13	12:13		1			
20.03.2012	12:20	12:20				1	
20.03.2012	12:41	12:41				1	
20.03.2012	12:42	12:42				1	
20.03.2012	12:43	12:43				1	
20.03.2012	19:41	19:41				1	
20.03.2012	19:43	19:43				1	
17.04.2012	07:58	07:58				1	
			<b>33</b>	<b>51</b>	<b>6</b>	<b>159</b>	<b>38</b>

Tabelle 2: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - ARFANG

Datum	Uhrzeit (GMT+1)		Bestätigter Lawinenabgang	Unsicherer Lawinenabgang		Fehldetektion	Nicht erfasster Lawinenabgang
	von	bis		möglich	unwahrscheinlich		
04.12.2012	07:43	07:43				1	
04.12.2012	09:08	09:08				1	
4.12.2012	11:14	11:14		1			
04.12.2012	13:09	13:09				1	
05.12.2012	12:56	12:56				1	
10.12.2012	03:53	03:53			1		
10.12.2012	09:43	09:43			1		
10.12.2012	13:41	13:41				1	
11.12.2012	11:20	11:20					1
12.12.2012	15:20	15:20				1	
12.12.2012	15:21	15:21				1	
12.12.2012	23:06	23:06				1	
13.12.2012	11:15	11:15				1	
13.12.2012	15:45	15:45				1	
13.12.2012	23:55	23:55			1		
15.12.2012	00:56	00:56				1	
17.12.2012	10:59	10:59				1	
17.12.2012	11:00	11:00				1	
17.12.2012	17:22	17:22				1	
18.12.2012	12:56	12:56				1	
18.12.2012	13:31	13:31				1	
18.12.2012	13:38	13:38				1	
18.12.2012	14:58	14:58				1	
19.12.2012	02:11	02:11				1	
19.12.2012	10:34	10:34				1	
19.12.2012	12:50	12:50		1			
20.12.2012	19:47	19:47				1	
22.12.2012	05:27	05:27		1			
22.12.2012	16:17	16:17				1	
23.12.2012	01:45	01:45		1			
23.12.2012	02:21	02:21		1			
23.12.2012	02:54	02:54		1			
23.12.2012	04:23	04:23		1			
23.12.2012	04:45	04:45				1	
23.12.2012	04:50	04:50		1			
23.12.2012	04:55	04:55		1			
23.12.2012	04:56	04:56	1				
23.12.2012	04:59	04:59	1				
23.12.2012	05:01	05:01		1			
23.12.2012	05:04	05:04	1				
23.12.2012	05:06	05:06		1			
23.12.2012	09:29	09:29		1			
27.12.2012	08:01	08:01				1	
27.12.2012	18:19	18:19		1			
28.12.2012	05:01	05:13					2
30.12.2012	10:35	10:35				1	

ANHANG

30.12.2012	11:38	11:38				1	
30.12.2012	13:22	13:22				1	
02.01.2013	15:10	15:10				1	
02.01.2013	15:51	15:51			1		
05.01.2013	22:00	22:00				1	
06.01.2013	10:39	10:39				1	
06.01.2013	22:25	22:25			1		
06.01.2013	23:36	23:36				1	
07.01.2013	11:40	11:40				1	
07.01.2013	23:41	23:41				1	
10.01.2013	16:09	16:09			1		
10.01.2013	22:21	22:21			1		
10.01.2013	23:06	23:06				1	
11.01.2013	11:44	11:44		1			
17.01.2013	05:03	05:03					1
17.01.2013	05:07	05:07	1				
17.01.2013	05:11	05:11		1			
19.01.2013	04:32	04:32			1		
19.01.2013	15:53	15:53				1	
20.01.2013	10:20	10:20				1	
21.01.2013	09:55	09:55			1		
21.01.2013	11:49	11:49				1	
25.01.2013	11:16	11:16				1	
26.01.2013	20:28	20:28				1	
26.01.2013	22:17	22:17				1	
28.01.2013	10:26	10:26				1	
28.01.2013	14:43	14:43				1	
28.01.2013	14:46	14:46				1	
28.01.2013	15:48	15:48				1	
28.01.2013	15:56	15:56				1	
28.01.2013	16:49	16:49			1		
28.01.2013	16:56	16:56				1	
28.01.2013	19:19	19:19				1	
28.01.2013	21:02	21:02				1	
28.01.2013	22:44	22:44			1		
29.01.2013	15:28	15:28				1	
30.01.2013	14:14	14:14	1				
30.01.2013	???	???					2
01.02.2013	01:24	01:24				1	
01.02.2013	12:13	12:13			1		
02.02.2013	00:42	00:42				1	
03.02.2013	14:36	14:36				1	
03.02.2013	14:51	14:51				1	
03.02.2013	16:02	16:02		1			
03.02.2013	17:33	17:33				1	
04.02.2013	04:54	04:54		1			
04.02.2013	05:04	05:04		1			
04.02.2013	05:44	05:44		1			
04.02.2013	12:01	12:01				1	
04.02.2013	17:14	17:14	1				
04.02.2013	17:17	17:17					1
05.02.2013	20:04	20:04				1	
08.02.2013	11:09	11:09				1	
08.02.2013	15:11	15:11				1	
08.02.2013	15:12	15:12				1	

ANHANG

08.02.2013	23:06	23:06				1	
08.02.2013	23:41	23:41				1	
11.02.2013	01:42	01:42				1	
11.02.2013	16:34	16:34			1		
12.02.2013	17:30	17:30			1		
13.02.2013	13:02	13:02				1	
13.02.2013	14:54	14:54			1		
13.02.2013	21:30	21:30				1	
13.02.2013	21:31	21:31				1	
13.02.2013	23:49	23:49				1	
14.02.2013	07:37	07:37				1	
14.02.2013	12:09	12:09				1	
14.02.2013	22:22	22:22			1		
15.02.2013	14:55	14:55				1	
18.02.2013	16:41	16:41			1		
24.02.2013	16:17	16:17				1	
24.02.2013	21:17	21:17				1	
24.02.2013	22:05	22:05			1		
24.02.2013	22:25	22:25			1		
25.02.2013	01:30	01:30				1	
25.02.2013	16:53	16:53				1	
25.02.2013	23:04	23:04			1		
26.02.2013	12:45	12:45				1	
02.03.2013	22:17	22:17				1	
05.03.2013	23:23	23:23				1	
06.03.2013	08:29	08:29			1		
18.03.2013	18:35	18:35				1	
21.03.2013	21:08	21:08		1			
21.03.2013	21:10	21:10		1			
01.04.2013	21:56	21:56				1	
01.04.2013	23:56	23:56			1		
03.04.2013	12:55	12:55				1	
03.04.2013	13:20	13:20				1	
04.04.2013	15:10	15:10				1	
05.04.2013	00:21	00:21			1		
09.04.2013	22:30	22:30				1	
11.04.2013	00:19	00:19				1	
11.04.2013	14:32	14:32				1	
15.04.2013	12:25	12:25					1
15.04.2013	15:44	15:44					1
16.04.2013	12:16	12:16					1
16.04.2013	16:26	16:26					1
			<b>6</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>84</b>	<b>11</b>

## 1.2 Auswertung UHU

Tabelle 3: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - UHU

Datum	Uhrzeit (GMT+1)		Bestätigter, detektierter Lawinenabgang - ARFANG	Nicht erfasster Lawinenabgang - ARFANG	UHU	
	von	bis			möglich	unwahrscheinlich
11.12.2012	11:20	11:20		1	-	-
23.12.2012	04:56	04:56	1		1	
23.12.2012	04:59	04:59	1		1	
23.12.2012	05:04	05:04	1		1	
28.12.2012	???	???		2	-	-
17.01.2013	05:03	05:03		1		1
17.01.2013	05:07	05:07	1		1	
30.01.2013	14:14	14:14	1		1	
30.01.2013	???	???		2	-	-
04.02.2013	17:14	17:14	1			1
04.02.2013	17:17	17:17		1		1
15.04.2013	12:25	12:25		1		1
15.04.2013	15:44	15:44		1		1
16.04.2013	12:16	12:16		1		1
16.04.2013	16:26	16:26		1		1
			<b>6</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

## 1.3 Auswertung AlpuG

Tabelle 4: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Gonda - AlpuG

Nr.	Datum	Zeit (GMT+1)	Lawine	SMS W	Trigger W	SMS E	Trigger E	Fehldetektion W	Nicht detektiert W	Fehldetektion E	Nicht detektiert E	Nicht W&E	Künstlich ausgelöst	Bemerkungen
1	01.11.12	10:06	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
2	04.11.12	12:26	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
3	08.11.12	11:05	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
4	08.11.12	14:38	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
5	08.11.12	14:39	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
6	08.11.12	14:44	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
7	08.11.12	14:45	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
8	08.11.12	14:47	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
9	08.11.12	14:48	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
10	08.11.12	14:50	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
11	08.11.12	14:50	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
12	08.11.12	14:52	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
13	08.11.12	14:54	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
14	08.11.12	14:55	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
15	08.11.12	15:00	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
16	11.11.12	14:12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
17	10.12.12	04:58	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
18	10.12.12	12:25	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
19	11.12.12	11:19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
20	11.12.12	11:20	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	Ja	
21	11.12.12	11:23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
22	23.12.12	04:56	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	Ja	
23	23.12.12	04:59	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	Ja	
24	23.12.12	05:01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
25	23.12.12	05:02	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
26	23.12.12	05:07	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
27	23.12.12	05:37	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
28	23.12.12	09:55	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
29	25.12.12	08:07	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
30	25.12.12	09:06	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
31	25.12.12	09:08	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
32	28.12.12	02:25	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
33	28.12.12	02:31	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
34	28.12.12	05:01	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
35	28.12.12	05:05	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	Ja	
36	28.12.12	05:07	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	Ja	
37	28.12.12	05:09	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
38	17.01.13	05:03	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	Ja	
39	17.01.13	05:08	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	Ja	

ANHANG

40	17.01.13	05:10	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
41	30.01.13	???	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	N.	
42	04.02.13	07:49	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
43	04.02.13	17:14	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	Ja	
44	04.02.13	17:18	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	Ja	
45	04.02.13	17:23	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Ja	Möglich
46	04.03.13	12:04	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
47	19.03.13	05:14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
48	19.03.13	05:16	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	/	
49	23.03.13	11:20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
50	15.04.13	09:36	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
51	15.04.13	12:24	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	N.	
52	15.04.13	15:44	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	N.	
53	16.04.13	12:16	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	N.	
54	16.04.13	14:55	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
55	16.04.13	16:26	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	N.	
56	17.04.13	12:32	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	/	
57	17.04.13	13:39	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
58	17.04.13	13:43	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
59	17.04.13	14:31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
60	19.04.13	12:29	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
61	20.04.13	11:32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
62	20.04.13	13:36	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
63	28.04.13	15:20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
64	02.05.13	15:46	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
65	05.05.13	04:43	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	/	
66	07.05.13	12:42	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	/	
			<b>14</b>	<b>21</b>	<b>46</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>4</b>		

## 1.4 Auswertung IDA

Tabelle 5: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 (ohne Radaralarme) – Ischgl - IDA

Datum	Uhrzeit (GMT)		Bestätigter Lawinenabgang		Unsicherer Lawinenabgang		Fehldetektion	Lawinenabgang nicht erfasst
	von	bis	validiert durch Radar	validiert durch Reports und Radar	möglich	unwahrscheinlich		
10.12.12	02:21	02:21			1			
10.12.12	07:39	07:39						1
10.12.12	07:41	07:41					1	
10.12.12	07:41	07:41		1				
10.12.12	07:42	07:42			1			
15.12.12	07:16	07:16						1
19.12.12	14:15	14:15				1		
23.12.12	01:18	01:18		1				
23.12.12	07:20	07:20						1
28.12.12	07:01	07:01		1				
28.12.12	07:03	07:03			1			
28.12.12	07:03	07:03			1			
05.02.13	07:03	07:03			1			
05.02.13	07:03	07:03			1			
05.02.13	07:04	07:04			1			
11.03.13	12:10	12:10		1				
22.03.13	08:48	08:48			1			
				<b>4</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

Tabelle 6: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 (mit Radaralarmen) – Ischgl - IDA

Datum	Uhrzeit (GMT)		Bestätigter Lawinenabgang		Unsicherer Lawinenabgang		Fehldetektion	Lawinenabgang nicht erfasst
	von	bis	validiert durch Radar	validiert durch Reports und Radar	möglich	unwahrscheinlich		
10.12.12	02:21	02:21			1			
10.12.12	07:39	07:39						1
10.12.12	07:41	07:41					1	
10.12.12	07:41	07:41		1				
10.12.12	07:42	07:42			1			
15.12.12	07:16	07:16						1
19.12.12	14:15	14:15				1		
23.12.12	01:18	01:18		1				
23.12.12	01:39	01:39						1
23.12.12	07:20	07:20						1
28.12.12	07:01	07:01		1				
28.12.12	07:03	07:03	1					
28.12.12	07:03	07:03	1					
20.01.13	10:51	10:51						1
02.02.13	06:35	06:35						1
03.02.13	23:48	23:48						1
05.02.13	07:03	07:03			1			
05.02.13	07:03	07:03			1			
05.02.13	07:04	07:04	1					
11.03.13	12:10	12:10		1				
22.03.13	08:48	08:48			1			
			<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7</b>

## 1.5 Auswertung Lawinenradar

Tabelle 7: Einteilung der Ereignisse in Kategorien für den Lawinenwinter 2012/2013 – Ischgl - Lawinenradar

Datum	Uhrzeit (GMT)	Visuell bestätigte Lawine	Bestätigter Lawinenabgang	Unsicherer, aber wahrscheinlicher Lawinenabgang	Fehldetektion	Nicht erfasster Lawinenabgang	Künstlich ausgelöst
10.12.2012	07:39	1	1				ja
10.12.2012	07:41	1	1				ja
15.12.2012	07:16	1				1	ja
23.12.2012	01:18	1	1				
23.12.2012	01:39			1			
23.12.2012	07:20	1	1				ja
28.12.2012	07:01	1	1				ja
28.12.2012	07:03			1			ja
28.12.2012	07:03			1			ja
20.01.2013	10:51			1			ja
02.02.2013	06:35			1			ja
03.02.2013	23:48			1			
05.02.2013	07:04			1			ja
11.03.2013	12:10	1	1				
		<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	

## 1.6 Detailanalyse der detektierten Lawinen – ARFANG

Tabelle 8: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, detektierte Ereignisse – Gonda - ARFANG

Datum	Uhrzeit (GMT+1)	Lawinengröße	Lawinenart	Auslauflänge	Signaldauer [sec]	max. Schalldruckpegel [dB]
23.12.2011	04:56	groß	trocken	über Kessel	82	75
23.12.2011	05:02	groß	trocken	über Kessel	93	72
23.12.2011	05:11	groß	trocken	über Kessel	110	68
23.12.2011	05:14	groß	trocken	über Kessel	116	67
23.12.2011	05:17	groß	trocken	über Kessel	108	71
05.01.2012	20:16	groß	trocken	über Kessel	82	75
05.01.2012	20:23	groß	trocken	über Kessel	99	72
06.01.2012	21:26	groß	trocken	über Kessel	77	68
20.01.2012	17:21	groß	trocken	über Kessel	80	71
21.01.2012	04:58	groß	trocken	über Kessel	78	77
02.03.2012	17:18	groß	trocken	über Kessel	-	-
02.03.2012	17:20	groß	trocken	über Kessel	97	67
02.03.2012	17:24	groß	nass/gemischt	über Kessel	86	74
06.01.2012	21:41	mittel – groß	trocken	über Kessel	66	59
21.01.2012	04:54	mittel – groß	trocken	über Kessel	74	64
23.12.2012	04:56	mittel – groß	trocken	über Kessel	76	73
23.12.2012	05:04	mittel – groß	trocken	über Kessel	106	65
23.12.2011	05:20	mittel	trocken	über Kessel	64	62
08.01.2012	21:17	mittel	trocken	über Kessel	63	66
21.01.2012	05:03	mittel	trocken	über Kessel	58	65
21.01.2012	05:07	mittel	trocken	über Kessel	68	57
02.03.2012	12:36	mittel	nass/gemischt	über Kessel	74	71
02.03.2012	13:04	mittel	nass/gemischt	über Kessel	76	70
02.03.2012	16:06	mittel	nass/gemischt	über Kessel	100	68
08.01.2012	05:22	mittel	trocken	im Kessel	58	60
21.01.2012	05:10	mittel	trocken	im Kessel	56	59
23.12.2012	04:59	mittel	trocken	im Kessel	53	63
24.01.2012	17:59	klein - mittel	trocken	über Kessel	60	42
06.01.2012	05:20	klein - mittel	trocken	im Kessel	50	47
08.01.2012	05:33	klein - mittel	trocken	im Kessel	40	51
02.03.2012	17:27	klein - mittel	trocken	im Kessel	22	62
08.01.2012	21:22	klein	trocken	über Kessel	24	43
30.01.2013	14:14	klein	nass/gemischt	über Kessel	112	63
23.12.2011	05:08	klein	trocken	im Kessel	28	41
21.01.2012	19:15	klein	trocken	im Kessel	54	44

## 1.7 Detailanalyse der nicht detektierten Lawinen – ARFANG

Tabelle 9: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, nicht detektierte Ereignisse – Gonda - ARFANG

Datum	Uhrzeit (GMT+1)	Lawinengröße					Lawinenart		Auslauflänge	
		groß	groß - mittel	mittel	mittel – klein	klein	trocken	nass/gemischt	über Kessel	im Kessel
05.01.2012	20:24					1	1		1	
05.01.2012	20:25					1	1		1	
06.01.2012	05:18				1		1			1
06.01.2012	21:43		1				1		1	
06.01.2012	21:44					1	1			1
06.01.2012	21:50					1	1			1
08.01.2012	05:36				1		1		1	
08.01.2012	05:42				1		1		1	
08.01.2012	21:14			1			1		1	
08.01.2012	21:16					1	1			1
08.01.2012	21:24			1			1		1	
20.01.2012	17:29			1			1			1
21.01.2012	19:24					1	1			1
21.01.2012	19:26					1	1			1
21.01.2012	19:30					1	1		1	
21.01.2012	19:33					1	1			1
22.01.2012	05:07					1	1			1
22.01.2012	05:09					1	1			1
25.01.2012	05:15					1	1			1
25.01.2012	05:19					1	1			1
25.01.2012	05:22					1	1			1
25.01.2012	05:25					1	1			1
25.01.2012	05:34					1	1			1
02.03.2012	12:00 –					1		1		1
02.03.2012	17:14					1		1		1
02.03.2012	17:17	1						1	1	
02.03.2012	17:22					1		1		1
02.03.2012	17:25	1						1	1	
28.12.2012	05:01					1	1		1	
28.12.2012	05:03 -					1	1			1
30.01.2013	???					1	1			1
30.01.2013	???					1	1			1
04.02.2013	17:17					1	1			1
15.04.2013	12:25			1				1	1	
15.04.2013	15:44		1					1	1	
16.04.2013	12:16			1				1	1	
16.04.2013	16:26			1				1	1	
		2	2	6	3	24	28	9	15	22

## 1.8 Detailanalyse der detektierten Lawinen – IDA

Tabelle 10: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, detektierte Ereignisse – Ischgl - IDA

Datum	Uhrzeit (GMT)	Lawinengröße	Lawinenart	Auslauflänge	Signaldauer [sec]	max. Schalldruckpegel [dB]	Außerhalb Großtal
23.12.2012	01:18	groß	nass	über Kessel	235	1324	
11.03.2013	12:10	groß	nass	über Kessel	151	292	
23.12.2012	02:10	groß	nass	über Kessel	61	484	Ja
23.12.2012	03:06	groß	nass	über Kessel	98	440	Ja
06.02.2013	01:28	groß	trocken	über Kessel	96	2918	Ja
28.12.2012	07:01	mittel	trocken	über Kessel	7	241	
28.12.2012	07:03	mittel	trocken	über Kessel	10	102	
10.12.2012	07:41	klein	trocken	im Kessel	7	165	

## 1.9 Detailanalyse der nicht detektierten Lawinen – IDA

Tabelle 11: Detailanalyse der Rohdaten für validierte, nicht detektierte Ereignisse – Ischgl - IDA

Datum	Uhrzeit (GMT)	Lawinengröße			Lawinenart		Auslauflänge	
		groß	mittel	klein	trocken	nass/gemischt	über Kessel	im Kessel
10.12.2012	07:39			1	1			1
15.12.2012	07:16			1	1			1
23.12.2012	01:39			1		1		1
23.12.2012	07:20			1	1			1
20.01.2013	10:51		1		1		1	
02.02.2013	06:35	1			1		1	
03.02.2013	23:48			1	1			1
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>

## 1.10 Detailanalyse der detektierten Lawinen – Lawinenradar

Tabelle 12: Detailanalyse der Rohdaten für validierte , detektierte Ereignisse – Ischgl - Lawinenradar

Datum	Uhrzeit (GMT)	Lawinengröße	Lawinenart	Auslauflänge	Signaldauer	Durchschnittliche Entfernungstore	Zeitfaktor (Signaldauer/Entfernungstore)	Kanal (bei max. Amplitudenstärke)	max. Amplitudenstärke	Amplitudensumme (bei max. Amplitudenstärke)	Amplitudensumme (bei Range Gate 4)	Range Gate der max. Amplitudenstärke
23.12.2012	01:18	groß	nass	über Kessel	38	25	1,52	427	13	2294	2548	4
11.03.2013	12:10	groß	nass	über Kessel	46	25	1,84	374	9	699	566	23
02.02.2013	06:35	groß	trocken	über Kessel	36	25	1,44	215	14	442	504	24
28.12.2012	07:01	mittel	trocken	über Kessel	24	14	1,71	193	8	657	653	14
28.12.2012	07:03	mittel	trocken	über Kessel	12	10	1,20	656	5	417	693	12
20.01.2013	10:51	mittel	trocken	über Kessel	34	12	2,83	408	9	866	413	15
23.12.2012	01:39	klein - mittel	nass	im Kessel	4	6	0,67	258	8	772	-	11
10.12.2012	07:41	klein - mittel	trocken	im Kessel	14	8	1,75	576	8	836	-	16
03.02.2013	23:48	klein - mittel	trocken	im Kessel	8	4	2,00	415	9	697	-	12
05.02.2013	07:04	klein - mittel	trocken	im Kessel	12	7	1,71	552	10	1361	-	15
10.12.2012	07:39	klein	trocken	im Kessel	44	10	4,40	225	6,5	398	-	28
23.12.2012	07:20	klein	trocken	im Kessel	53	13	4,08	250	10	584	-	23
28.12.2012	07:03	klein	trocken	im Kessel	37	12	3,08	215	7	394	-	28

Beim Zeitfaktor gilt es zu berücksichtigen, dass die Signaldauer jene Zeitspanne angibt, welche zwischen der Erstdetektion des Signals im obersten und untersten durchschrittenen Entfernungstor liegt. Sie ist somit kein Indikator für die Lawinendauer.

## 2 Tabelle Emanuele Marchetti - IDA

date and time	pressure (mbar)	duration	back- azimuth	apparent velocity	peak frequency
19.11.2012 10:13	165	164	247.5	375	01. Jul
21.11.2012 15:00	1044	108	243.8	378	01. Apr
08.12.2012 06:57	130	61	248.9	377	0.5
09.12.2012 06:29	162	95	233.5	428	0.3
09.12.2012 22:08	202	46	268.2	360	01. Jan
10.12.2012 02:16	131	69	261.7	366	1
10.12.2012 02:21	844	70	317.7	354	01. Jan
10.12.2012 11:59	160	30	266.4	364	0.7
10.12.2012 12:40	113	121	328.6	452	0.4
10.12.2012 13:53	116	264	265.3	421	1
10.12.2012 14:26	250	58	250.1	381	01. Jun
10.12.2012 17:47	198	134	190.2	327	01. Sep
11.12.2012 09:10	160	115	290.3	453	01. Jan
11.12.2012 16:05	113	113	295.5	539	01. Mrz
12.12.2012 14:19	130	158	328.6	454	0.4
12.12.2012 17:20	74	69	277.3	490	0.5
12.12.2012 17:22	146	151	276.8	450	0.4
13.12.2012 09:19	352	71	255.3	384	01. Mai
13.12.2012 12:48	100	98	332.6	447	0.4
13.12.2012 12:50	77	84	335.4	417	0.4
15.12.2012 01:00	231	31	16. Mrz	379	0.9
17.12.2012 09:58	112	47	326.6	449	0.5
18.12.2012 14:48	137	97	289	520	01. Jan
18.12.2012 17:09	75	118	214.1	426	0.3
18.12.2012 17:14	75	203	212.5	454	0.3

18.12.2012 17:49	74	149	208	414	0.2
19.12.2012 14:15	200	110	318.9	492	0.8
22.12.2012 15:18	96	68	02. Jun	414	01. Feb
22.12.2012 23:00	792	124	270.8	387	01. Jan
22.12.2012 23:30	205	53	196.2	319	01. Jul
23.12.2012 00:19	375	97	191.3	321	01. Jul
23.12.2012 00:50	141	55	200.1	325	1
23.12.2012 01:18	1324	235	323.2	343	02. Mrz
23.12.2012 01:37	191	109	190.5	319	01. Jul
23.12.2012 02:10	484	61	261.4	369	01. Mrz
23.12.2012 03:06	440	98	263.4	390	0.6
26.12.2012 17:01	227	52	51.1	351	1
28.12.2012 06:28	172	42	261.8	369	1
28.12.2012 07:01	543	66	276.6	382	1
28.12.2012 07:35	376	47	259.1	358	01. Jun
07.01.2013 10:39	73	223	324.8	452	0.5
22.01.2013 09:12	830	58	259.3	407	02. Jan
24.01.2013 14:57	130	34	353.5	385	0.4
29.01.2013 19:54	356	71	270.3	388	01. Jan
30.01.2013 13:50	1361	43	255.8	400	01. Mai
01.02.2013 09:01	1106	104	03. Sep	383	0.8
01.02.2013 19:48	175	106	269.2	397	02. Mrz
02.02.2013 05:01	124	52	61.1	344	01. Mai
02.02.2013 14:08	94	50	258.4	383	0.7
03.02.2013 23:15	158	30	264	371	0.6
04.02.2013 11:18	233	49	192.7	323	2
04.02.2013 12:35	276	52	257.2	359	0.9
04.02.2013	177	37	160.5	311	02. Jun

<b>19:50</b>						
<b>06.02.2013</b>	2918	96	269.3		370	0.9
<b>01:28</b>						
<b>06.02.2013</b>	300	79	83.8		337	03. Mai
<b>09:02</b>						
<b>06.02.2013</b>	313	149	250.5		368	01. Aug
<b>09:12</b>						
<b>11.02.2013</b>	74	84	337.8		404	0.3
<b>15:48</b>						
<b>13.02.2013</b>	95	111	271.8		454	0.5
<b>19:30</b>						
<b>13.02.2013</b>	148	70	272.1		447	0.3
<b>19:33</b>						
<b>22.02.2013</b>	1436	100	259.6		422	01. Aug
<b>13:48</b>						
<b>22.02.2013</b>	187	92	249.7		365	01. Jan
<b>14:33</b>						
<b>24.02.2013</b>	245	79	84.8		445	01. Sep
<b>22:22</b>						
<b>25.02.2013</b>	100	53	84.1		339	0.8
<b>03:06</b>						
<b>25.02.2013</b>	338	84	175.1		401	01. Mai
<b>22:43</b>						
<b>26.02.2013</b>	163	42	178.8		308	0.4
<b>08:10</b>						
<b>26.02.2013</b>	217	60	192.1		312	0.9
<b>09:33</b>						
<b>01.03.2013</b>	139	66	44		397	01. Mrz
<b>21:35</b>						
<b>06.03.2013</b>	117	28	206.1		324	01. Mrz
<b>06:02</b>						
<b>07.03.2013</b>	104	49	109.5		359	01. Feb
<b>05:35</b>						
<b>11.03.2013</b>	292	151	317.8		374	02. Jan
<b>12:10</b>						
<b>19.03.2013</b>	799	45	252.8		380	01. Jun
<b>14:23</b>						
<b>19.03.2013</b>	90	83	333.9		427	0.5
<b>17:41</b>						
<b>22.03.2013</b>	212	53	294.4		489	0.4
<b>08:48</b>						
<b>03.04.2013</b>	85	63	268.9		423	0.3
<b>21:33</b>						
<b>09.04.2013</b>	323	62	204.2		415	0.6
<b>21:10</b>						
<b>11.04.2013</b>	139	34	211.3		338	0.5
<b>16:43</b>						
<b>15.04.2013</b>	363	91	269.2		396	01. Jun
<b>13:49</b>						
<b>17.04.2013</b>	90	33	215		343	01. Mai
<b>17:20</b>						
<b>18.04.2013</b>	175	37	159.8		319	02. Jan
<b>14:15</b>						
<b>07.05.2013</b>	156	55	150.3		357	01. Jun
<b>05:43</b>						

### 3 Bauanleitung für den Mikrofonvorverstärker

#### Bauanleitung für Mikrofonvorverstärker Preamp2

Der Mikrofonvorverstärker Preamp2 ist für akustische Messungen im Frequenzbereich von 1 Hz bis circa 8000 Hz geeignet. Die Verstärkung kann mit einem 3fachen DIL-Schalter eingestellt werden. Es sind drei Einstellungen möglich, 40, 50 oder 60 dB.

Zur Abschirmung muss der Mikrofonvorverstärker in ein Metallgehäuse eingebaut werden. Metallgehäuse gibt es in Elektronik- und Bastelläden in den verschiedensten Ausführungen, z.B. das Aluminiumgehäuse Best. Nr. 70H404 mit den Maßen 100 x 80 x 25 bei Bürklin. Die Maße der Platine und der Verdrahtungsplan sind für dieses Gehäuse ausgelegt worden.

Für den Preamp2 werden nur handelsübliche Bauteile verwendet so wird der Nachbau und die Beschaffung der Bauteile keine Probleme machen.

Als erstes werden die Bauteile lose in die Lochrasterplatine gesteckt. Die Lochrasterplatine wird vorher auf das passende Maß gesägt. Bei Verwendung von Bauteilen, insbesondere bei den Kondensatoren, die mehr Platz brauchen als im Verdrahtungsplan vorgesehen müssen die Anordnung der Bauteile oder die Größe der Lochrasterplatine verändert werden. Das ist aber nicht zu empfehlen besser man verwendet Maßgerechte Bauteile.

Sind die Bauteile entsprechend dem Verdrahtungsplan auf der Lochrasterplatine fehlerfrei angeordnet kann damit begonnen werden die Bauteile mit einem Lötspunkt anzulöten.

Nun werden die überstehenden Drähte abgeschnitten und verwahrt.

Als nächstes werden gemäß der Lötzeichnung die Leiterbahnen hergestellt. Dazu werden die abgeschnittenen und verwahrten Drahtenden auf passende Länge geschnitten und auf der Lochrasterplatine angelötet.

Die Anordnung der Bauteile gewährleistet, dass alle Verbindungen zwischen den Bauteilen kreuzungsfrei ausgeführt werden können.

Besondere Aufmerksamkeit gilt den Masseverbindungen auf der Lochrasterplatine diese sollen möglichst großzügig ausgeführt werden.

Nach Fertigstellung der Platine wird das Aluminiumgehäuse entsprechend dem Verdrahtungsplan vorbereitet.

Zur Bestimmung der Einbaumaße legen wir die Platine und zwei 9 Volt Blockbatterien die mit Batterieclipse versehen sind, so wie im Verdrahtungsplan vorgegeben, lose in das Aluminiumgehäuse. Nun prüfen wir wie die Einbaubuchsen für den Mikrofoneingang und den Verstärkerausgang und der zweipolige Ein-Aus-Schalter angeordnet werden können und bestimmen die Maße an denen die Befestigungslöcher in das Aluminiumgehäuse gebohrt werden müssen.

Nachdem die Buchsen und der Schalter im Aluminiumgehäuse eingebaut wurden löten wir eine Drahtbrücke zwischen dem Masseanschluss der Cinchbuchse und der Mikrofonbuchse Pin 2. Für diese Drahtbrücke verwenden wir einen stabilen blanken Draht der bei der nachfolgenden Verdrahtung des Preamp2 als zentraler Massepunkt für alle Kabelverbindungen im gebraucht wird.

Das Aluminiumgehäuse ist durch die mechanische Befestigung der Cinchbuchse mit diesem Massepunkt verbunden.

Um Brummschleifen oder Rückkopplungen zu verhindern werden alle Masseverbindungen vom zentralen Massepunkt ausgehend sternförmig ausgeführt. Kabelabschirmungen werden nur an einem Ende des Kabels am zentralen

Massepunkt angelötet, die Abschirmung am anderen Ende des Kabels wird abgeschnitten und isoliert.

Der Punkt X1 auf der Platine wird mit dem zentralen Massepunkt verbunden wir verwenden einen einfachen isolierten Draht. Jeweils ein Pol der beiden Batterieclipse wird mit dem zentralen Massepunkt verbunden. Der andere Pol der Batterieclipse wird mit dem Ein-Aus-Schalter verbunden.

Die positive Speisespannung wird vom Ein-Aus-Schalter mit dem Punkt X2 auf der Platine verbunden. Die negative Speisespannung wird vom Ein-Aus-Schalter mit dem Punkt X3 auf der Platine verbunden

Bitte unbedingt auf die Polarität der Spannungen achten.

Für die folgenden Verbindungen brauchen wir abgeschirmtes Kabel.

Punkt X4 auf der Platine wird mit der Eingangsbuchse Pin 3 verbunden.

Punkt X5 auf der Platine wird mit der Eingangsbuchse Pin 1 verbunden.

Die Abschirmungen der Kabel werden auf der Buchsenseite an der zentralen Masse angelötet. Die Abschirmungen der Kabel werden auf der Platinenseite abgeschnitten.

Mikrofone die keine Speispannung benötigen werden im Mikrofonstecker mit Pin 2 für die Masse und mit Pin 1 für die Mikrofonspannung verbunden.

Bei zweipoligen Kondensatormikrofonen die eine Speisespannung benötigen werden zusätzlich im Mikrofonstecker Pin 1 und Pin 3 miteinander verbunden.

Nachdem wir nun alle Verbindungen hergestellt haben wird die Platine in das Aluminiumgehäuse eingebaut. Zur Isolierung wird auf der Innenseite das Gehäuse mit einer Lage Isolierband ausgeklebt, bitte nur dickes Isolierband mit Stoffeinlage verwenden.

Nun werden Platine und Blockbatterien so wie im Verdrahtungsplan dargestellt in das Aluminiumgehäuse platziert. Je nachdem wie stark die verwendeten Batterieclipse ausfallen sitzt die Platine stramm im Gehäuse.

Bei Bedarf kann der verbleibende Hohlraum mit Schaumstoff aufgefüllt werden.

Nun ist der Nachbau des Preamp2 beendet, ich hoffe Sie hatten Erfolg und sind zufrieden mit den Leistungen des Preamp2.

Preamp2 Stückliste:

- 1 Handelsübliche Lochrasterplatine mit Lötunkten
- 1 Cinch Einbaubuchse
- 1 3pol Einbaubuchse (z.B. Typ Binder 0078-00-03, Bürklin 71F223)  
(3pol Stecker für das Mikrofon z.B. Typ Binder 0075-100-03, Bürklin 71F220)
- 1 Miniatur-Ein-Aus-Schalter 2polig
- 1 Alu Gehäuse 100 x 80 x 25, ([www.buerklin.com](http://www.buerklin.com), 70D404)
- 1 DIL8, IC-Fassung
- 5 Elektrolytkondensator 220  $\mu$ F / 40 Volt, axial
- 2 Keramikkondensatoren 150 pF / 100 Volt
- 1 Operationsverstärker TL072
- 3 Widerstände 1 k
- 2 Widerstände 2,2 k
- 2 Widerstand 3,3 k
- 2 Widerstand 10 k
- 2 Widerstand 33 k
- 2 Widerstand 100 k

Zum Betrieb des Preamp2:

Der Preamp2 ist für Messungen im Tieftonbereich konzipiert, daher verwende ich eine Mikrofonkapsel deren Frequenzgang bis in den Tieftonbereich hineinreicht.

Mikrofonkapsel Panasonic ECM 335-338, Frequenzgang von 5 Hz bis 20 kHz, -3dB.

Die Verstärkung des Mikrofonvorverstärkers wird mit dem 3fach DIL-Schalter eingestellt. Wählen Sie je nach Anwendung die passende Verstärkungsgröße aus. Es darf immer nur ein Schalter auf ON stehen.

Schalter 1 = 40 dB  
 Schalter 2 = 50 dB  
 Schalter 3 = 60 dB

**Beim Betrieb mit anderen Geräten ist zu beachten das am Ausgang des Mikrofonvorverstärkers Pream2 Spannungen von +9 Volt bis -9 Volt auftreten können. Die hohe Ausgangsspannung des Mikrofonvorverstärkers kann für angeschlossene Geräte gefährlich werden, es kann zu Störungen der angeschlossenen Geräte kommen und diese können sogar zerstört werden. Aufbau und Betrieb des Mikrofonvorverstärkers geschieht auf eigene Gefahr. Es wird bei Schäden an Sachen oder Personen keine Haftung übernommen.**

Die Panasonic ECM 335-338 Mikrofonkapsel , Frequenzgang von 5 Hz bis 20 kHz, -3dB, habe ich zur Abschirmung in einer großformatigen vergoldeten Cinchbuchse eingebaut. Die Mikrofonkapsel ist auf der Kabeelseite der Cinchbuchse eingesetzt und wird mit einer Feder im innern der Buchse festgehalten. Die Buchsenseite wird als Kabeleingang verwendet.

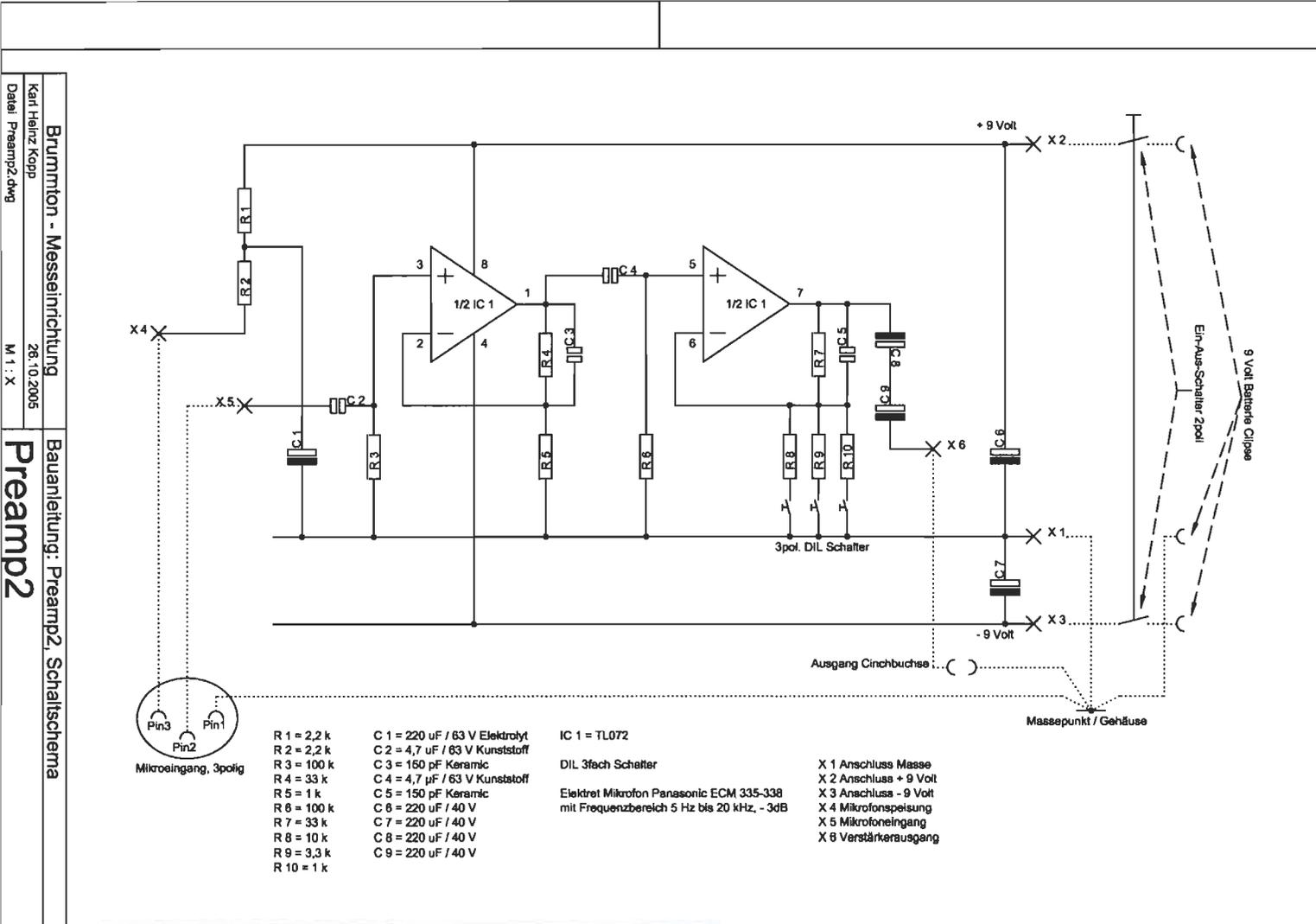
Um die Kapsel zu schützen ist vor die Membranöffnung flusenfreier Stoff mit einem passenden Kunststoffschlauch festgeklemmt.

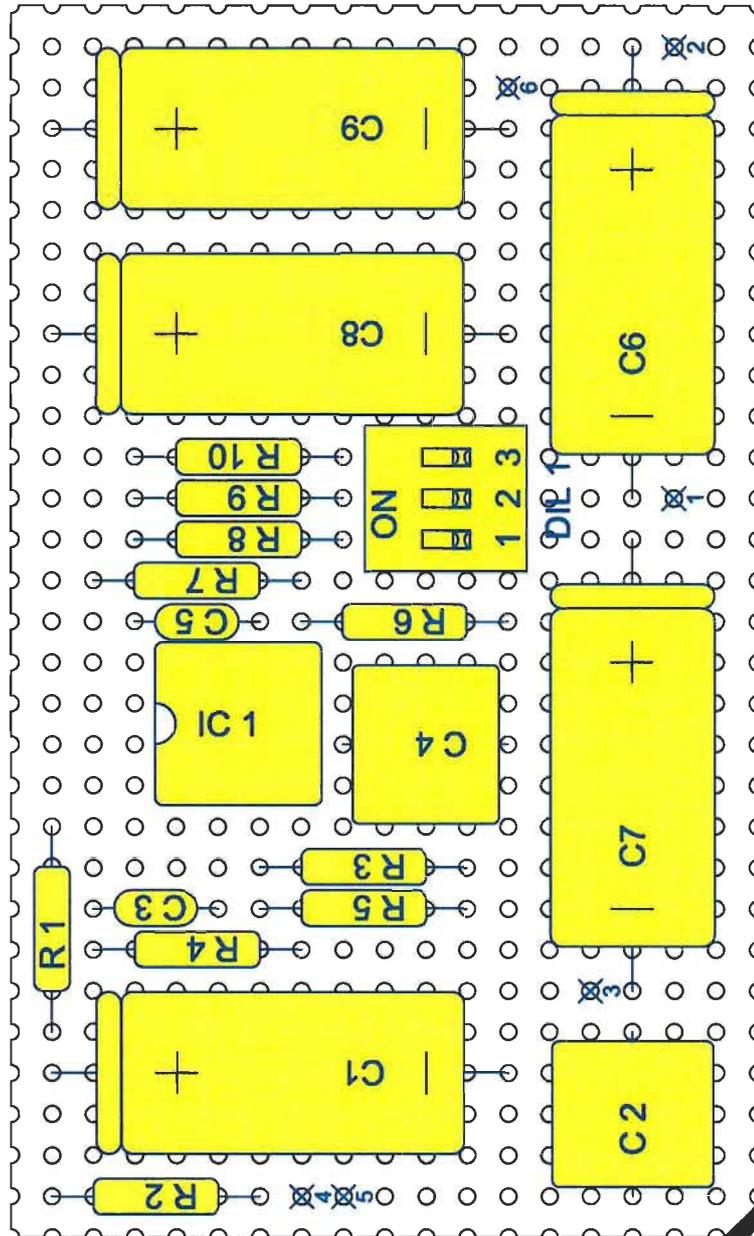


In Verbindung mit einem Notebook und einem USB-ADC (z. B. Edirol von Roland) ist man Netzunabhängig und kann mobile Messungen durchführen.

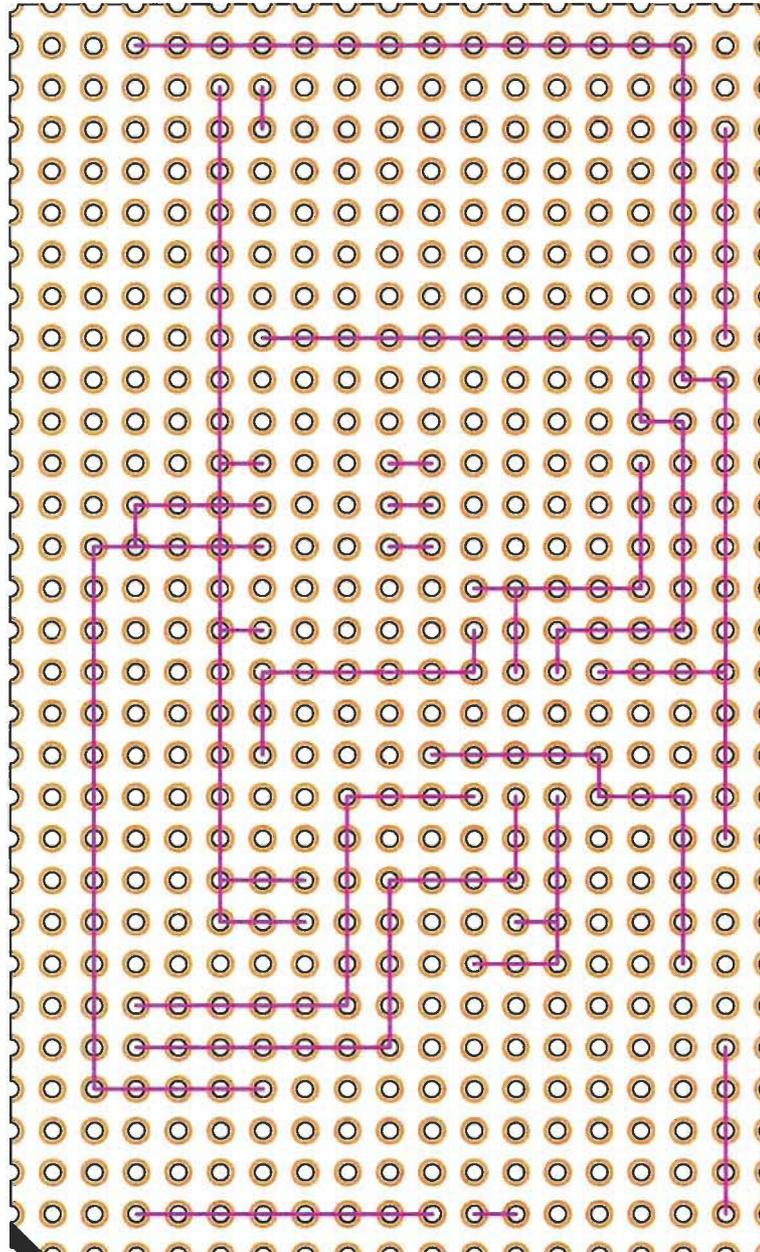
***Viel Erfolg beim Nachbau.***

Mit freundlichen Grüßen  
 Karl Heinz Kopp, den 26.10.2005





Brummtton - Messeinrichtung		Bauanleitung: Preamp2, Bestückung	
Karl Heinz Kopp	28.10.2005	<b>Preamp2</b>	
Datel Preamp2.dwg	M 1 : X		



<b>Brummtön - Messeinrichtung</b>		<b>Bauanleitung: Preamp2, Lötseite</b>	
Karl Heinz Kopp	26.10.2005	<b>Preamp2</b>	
Datei Preamp2.dwg	M 1 : X		

