

VERIFIKATION DES ERFOLGS DER KÜNSTLICHEN LAWINENAUSLÖSUNG IN EINEM OPERATIONELLEN PROJEKT MIT RADAR, SEISMIK UND INFRASCHALL AM BEISPIEL VON GONDA (UNTERENGADIN-SCHWEIZ)

Peder Caviezel^{1*}, Gian Cla Feuerstein², Lorenz Meier³, Reto Baumann⁴, Hansueli Gubler⁵, Sam Wyssen⁶ und Walter Steinkogler⁶

¹ Tiefbauamt Graubünden, Schweiz

² Amt für Wald und Naturgefahren, Schweiz

³ Geopraevent, Schweiz

⁴ Bundesamt für Umwelt, BAFU

⁵ Alpug, Davos, Schweiz

⁶ Wyssen Avalanche Control, Reichenbach, Schweiz

ABSTRACT: Um ein messbares Resultat bei der künstlichen Lawinenauslösung, d.h. eine signifikante Entladung der Anbruchgebiete, und/oder die natürliche Lawinenaktivität kontinuierlich zu beobachten, sind automatische Detektionssysteme eine sehr wertvolle Informationsquelle. Dieser Bericht fasst eine mehrjährige Vergleichsstudie von seismischen, Radar- und Infraschallsystemen in einem operationellen Lawinendienst zusammen. Das Ziel der Studie war eine anwenderfreundliche Lösung zu bestimmen. Eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Systeme während der Projektdauer zeigte die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme auf – gemessen an einem Datensatz aus manuellen Beobachtungen und aus Sicht der ausführenden Lawinenkommission. Weiters wurde die Notwendigkeit einer nutzerfreundlichen Bedienungs Oberfläche deutlich, um einen möglichst einfachen und effizienten Betrieb zu ermöglichen.

KEYWORDS: Lawinendetektion, Radar, Seismik, Infraschall

1. EINLEITUNG

Die künstliche Auslösung von Lawinen wird in der Schweiz seit Jahrzehnten ausgeführt. Sehr oft werden Sprengungen aus dem Helikopter ausgeführt. Um die mit dieser Methode verbundenen Nachteile, z.B. Flugwetter, Detonation in der Schneedecke, nur am Tag möglich, zu vermeiden, wurden verschiedene Systeme mit ortsfesten Anlagen entwickelt. Sie sind effizient und verfügen über eine hohe Auslösewahrscheinlichkeit. Weil diese Systeme auch bei schlechten Sichtbedingungen und zu jeder Tageszeit angewendet werden können, rückte zunehmend das Bedürfnis nach einer automatisierten Erfassung des (positiven oder negativen) Sprengresultats ins Zentrum der Tätigkeiten. Dieses Ergebnis, d.h. ob eine signifikante Entladung der Anbruchgebiete stattgefunden hat, stellt eine wertvolle Zusatzinformation für operative Entscheidungen der zuständigen Kommissionen dar.

Im Jahr 2008 wurde daher das Projekt Lawinendetektion Gonda gestartet. Als Projektperimeter wurde das bekannte Lawineneinzugsgebiet Gonda am Piz Chapisun (Kanton Graubünden, Schweiz) gewählt (Abbildung 1). In diesem werden seit dem Winter 2001/02 Lawinen mittels ortsfesten, fernbedienbaren Anlagen (Wyssen Lawinensprengmasten) künstlich ausgelöst. Die generelle Motivation des Projekts war verschiedene Lawinendetektionssysteme zu vergleichen, um Richtlinien und Kriterien für den Einsatz bzw. die Finanzierung der verschiedenen Systeme erarbeiten zu können.

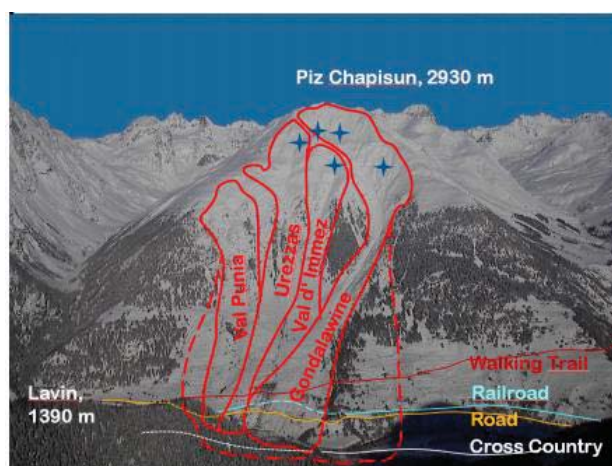


Abbildung 1: Übersicht Gebiet Gonda (Unterengadin, Schweiz)

Als konkretes Ziel wurde die Schaffung einer zuverlässigen (1), anwenderfreundlichen (2), schnellen (3) sowie wartungsfreundlichen (4) Lawinendetektion als Entscheidungsgrundlage (5) für den Lawinendienst definiert.

Konkret wurden im Untersuchungsgebiet verschiedene Radare, seismische und akustische Sensoren getestet. Wir präsentieren in der vorliegenden Studie operationelle Erfahrungen aus mehreren Wintern aus Sicht des Betreibers, der Lieferanten und der öffentlichen Verwaltung sowie die Ergebnisse der Verifikationsstudie für alle drei Detektionstechnologien (für detailliertere Ausführungen verweisen wir auf den „Schlussbericht Lawinendetektion Gonda“).

2. METHODEN

Zusätzlich zu den bestehenden Anlagen zur künstlichen Lawinenauslösung wurden im Anrissgebiet 3 Geophone, im Talboden 1 Arfang- und 1 SLF-Infraschallsystem (UHU, basierend auf drahtlosen Differenzdrucksensoren und hier nicht präsentiert) sowie an einer sicheren Position neben der Lawinenbahn mit Blick in den oberen Teil der Anrissgebiete eine Station installiert wo 2 verschiedene Radarsysteme (H&S und Geopraevent) getestet wurden und eine Kamera installiert war (Abbildung 2).

Für die Erfolgskontrolle der unterschiedlichen Detektionssysteme wurde die Detektionswahrscheinlichkeit (oder "Probability of Detection") und der Fehlalarmanteil (oder "False Alarm Ratio") im Vergleich mit visuellen Lawinenbeobachtungen ausgewertet (Details zur Auswertung im „Abschlussbericht Lawinendetektion Gonda“, erhältlich Ende 2018 beim Kanton Graubünden).

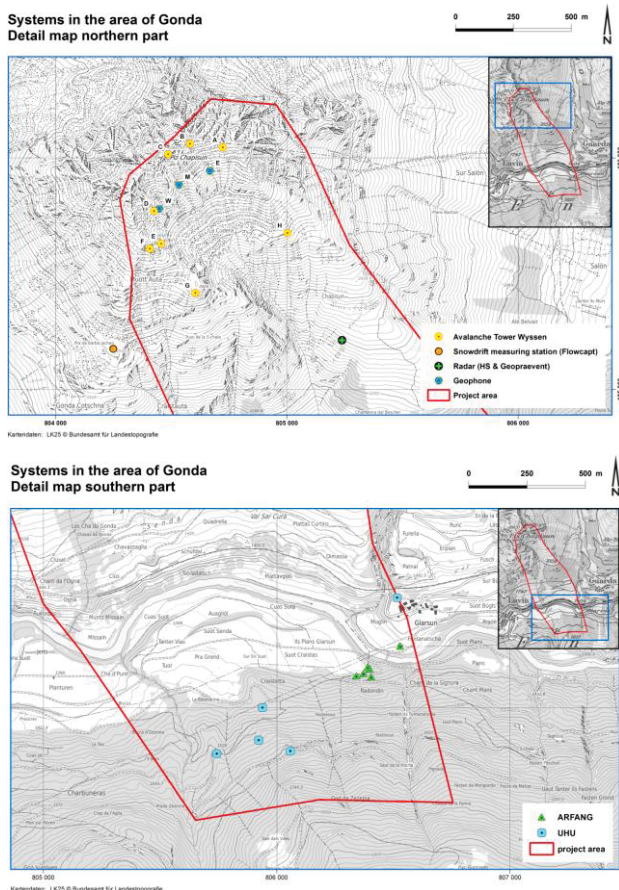


Abbildung 2: Übersicht über die installierten Anlagen zur künstlichen Lawinenauslösung und Detektion im Gebiet Gonda.

Eine wesentliche Herausforderung zu Beginn des Projekts (2008) war, dass viele (Auswerte-)Algorithmen und teilweise auch die Hardware der einzelnen Detektionssysteme noch nicht ausgereift

waren und einen operationellen Einsatz erschwerten. Im Weiteren wurde während der Projektdauer klar, dass die einfache und leicht zugängliche Darstellung der Detektionsergebnisse für den Nutzer essentieller Bestandteil der gesamten Anlage war. Die eigens dafür entwickelte Informationsplattform (Abbildung 3) stellt für den Anwender die operationelle Schnittstelle zum System dar. Aus dieser Sicht kann sie als Herzstück des Gesamtsystems betrachtet werden und wurde entsprechend weiterentwickelt und optimiert.

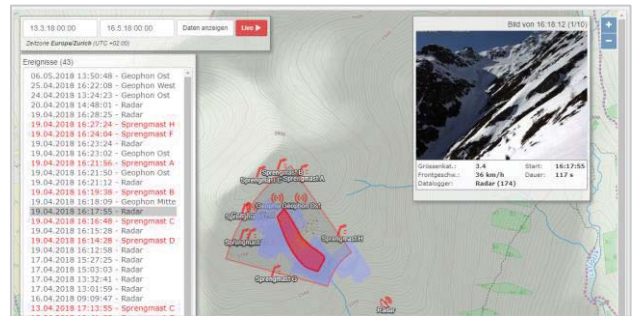


Abbildung 3: Beispiel der web-basierten Darstellung der Detektionssysteme.

3. RESULTATE

3.1 Technische Auswertung

Über die vier Winter, welche ausgewertet wurden, registrierten die Detektionssysteme insgesamt 130 künstliche oder spontan ausgelöste Lawinenabgänge. Im Winter 2014/15 waren es 30 Lawinenabgänge, im Winter 2015/2016 27 im Winter 2016/2017 24 und im schneereichen Winter 2017/18 49.

Die Detektion von Lawinen mittels Radar wird in Gonda seit dem Winter 2014/15 durchgeführt. Wie in Abbildung 4 ersichtlich wird bestehen zwischen den verschiedenen Wintern Unterschiede in Bezug auf den Fehlalarmanteil und die Detektionswahrscheinlichkeit des Radarsystems.

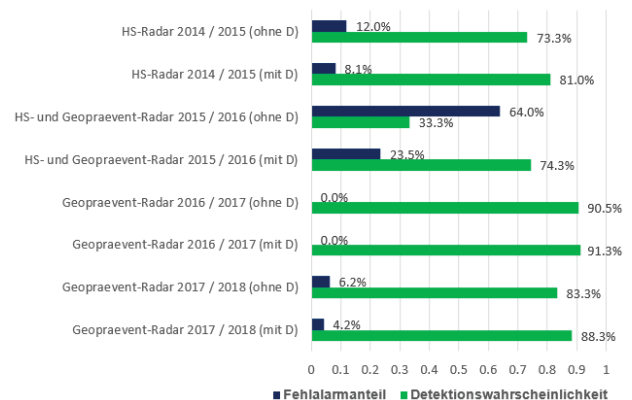


Abbildung 4: Leistungsparameter des Detektionssystems Radar (HS-Radar, resp. Geopraevent-Radar) für die Winter 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18 (mit und ohne Detektionskategorie D definiert als: "Lawinenabgang

konnte nicht bestätigt oder dementiert werden = Lawinenabgang unsicher").

Über alle vier Winter betrachtet ist die Detektionswahrscheinlichkeit des System Radars angestiegen und weist in der derzeitigen Konfiguration eine hohe Detektionswahrscheinlichkeit und einen relativ kleinen Fehlalarmanteil auf (Abbildung 4). Der Grund für die Radar-Detektionswahrscheinlichkeit von nur etwa 90% im letzten Winter war einerseits, dass während eines Starkschneefalls die Radarantenne eingeschneit wurde und dass andererseits die Energieversorgung nicht für den permanenten Betrieb konzipiert war. Beide Probleme sind mittlerweile mit technischen Lösungen behoben.

Das System Geophon zeigt eine geringere Detektionswahrscheinlichkeit mit einem gleichzeitig relativ hohen Fehlalarmanteil (Abbildung 5). Es ist jedoch zu beachten, dass die Geophonanlage im Anrissgebiet montiert wurden und daher sehr empfindlich konfiguriert wurden. Dies führte zum hohen Fehlalarmanteil.

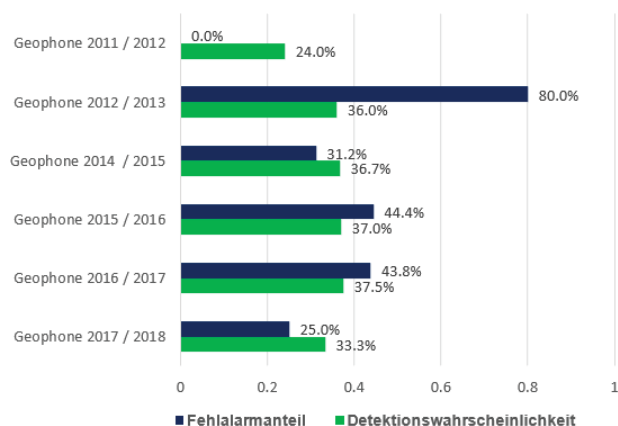


Abbildung 5: Leistungparameter des Detektionssystems Geophon für die Winter 2011/12 und 2012/13 (Datenauswertung in Lussi et al. 2012 und Kienberg 2013) und die Winter 2014/15, 2015/16, 2016/17 und 2017/18, Auswertung ohne die Kategorie D definiert als: "Lawinenabgang konnte nicht bestätigt oder dementiert werden = Lawinenabgang unsicher".

Die Detektion mittels ARFANG weist zwar im Vergleich zum Geophon eine höhere Detektionswahrscheinlichkeit auf, gleichzeitig aber auch einen sehr grossen Fehlalarmanteil von über 70% (Abbildung 6).

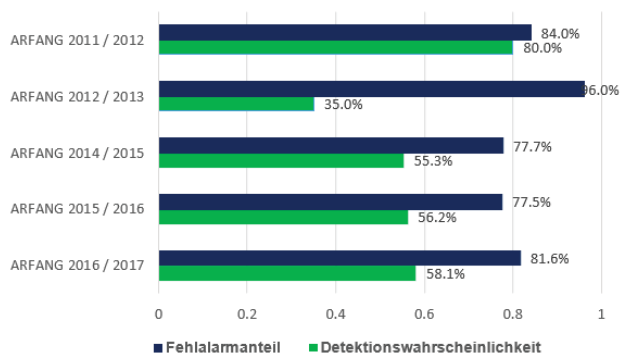


Abbildung 6: Leistungsparameter des Detektionssystems ARFANG für die Winter 2011/12 und 2012/13 (Datenauswertung in Lussi et al. 2012 und Kienberg 2013, mit minimalen methodischen Unterschieden) und die Winter 2014/15, 2015/16, 2016/17, Auswertung mit der Detektionskategorie D definiert als: "Lawinenabgang konnte nicht bestätigt oder dementiert werden = Lawinenabgang unsicher".

Es ist festzuhalten, dass die beschriebenen Auswertungen primär für die Anlage "Gonda" gültig sind da die Resultate besonders durch die Konfiguration der verschiedenen Systeme (z.B. Sensitivitätseinstellungen, Definition der Schwellenwerte, Position der Sensoren) signifikant beeinflusst wird. Generalisierungen und direkte Übertragungen auf andere Gebiete sind daher nur bedingt möglich und eine situationsabhängige Betrachtung ist notwendig.

3.2 Aus Sicht der Lawinenkommission:

Das Radarsystem liefert insbesondere betreffend Grösse und Fliessdistanz der detektierten Lawinen sehr wertvolle Angaben. Das Ein- und Ausschalten der Radaranlage per SMS (bei Bedarf) funktionierte ebenfalls problemlos. Die Stromversorgung der Radar- und Webcamanlage muss so dimensioniert sein, dass der Betrieb bei mehrtägigen Beurteilungsphasen (ca. 10 Tage) aufrechterhalten werden kann.

Webcam-Bilder sind für die Arbeit in der Lawinenkommission ebenfalls sehr wertvoll (Abbildung 3). Da in den kritischsten Phasen oft Nebel oder Dunkelheit herrscht, können die Bilder jedoch nicht für die unmittelbare Gefahrenbeurteilung herangezogen werden. Hingegen liefern sie für die Nachbearbeitung und Dokumentation von Sprengensätzen wertvolle Angaben (Anrisshöhe, -breiten, -bereiche und Lawinenlänge). Die Webcam-Bilder dienen zudem im Vorfeld einer neuen Beurteilungsperiode zur groben Beurteilung der Schneesituation im Einzugsgebiet.

Das installierte ARFANG-System spielte für die Beurteilung der Situation eine untergeordnete Bedeutung. Die Datenauswertung wurde erst mit grosser Zeitverzögerung übermittelt, sodass sie

nicht für momentane Beurteilung herangezogen werden konnte. Die Ereigniserfassung war zu wenig zuverlässig, da das System durch andere Emissionsquellen (z.B. Flugzeuge, Züge) beeinflusst wurde.

Die installierten Geophone entsprachen den Bedürfnissen der Lawinenkommission. Bei der Wahl der Sensorstandorte müssen Zonen mit potentiell mächtigen Schneedecken gemieden werden. Dies zeigte sich im Winter 2017-18, wo aufgrund der überdurchschnittlichen Schneehöhen die Geophone, auch in den Perioden mit erhöhter Lawinenaktivität, teilweise „taub“ waren und keine Lawinenabgänge mehr aufzeichneten, da die in höheren Schneeschichten abgehenden Lawinen keine genügend starken Erschütterungen bis zu den Geophonen übertragen konnten.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Über die Laufzeit des Projekts wurden, vermutlich weltweit zum ersten Mal, verschiedene Detektionssysteme mit bestehenden Anlagen zur künstlichen Lawinenauslösung zu einer Einheit zusammengeführt, und auf einer Plattform visualisiert. Das Projekt erlaubte an einem operationellen Beispiel aufzuzeigen, was die unterschiedlichen Technologien leisten können. Den Sicherheitsverantwortlichen vor Ort steht nun, am Ende des Projekts, eine zuverlässige und anwenderfreundliche zusätzliche Entscheidungsgrundlage zur Verfügung.

Bei der Planung von Projekten mit operationellen Detektionssystemen sollte zwischen den folgenden drei Anwendungsfällen unterschieden werden:

- Detektionssystem als Zusatzinstallation einer Anlage zur künstlichen Lawinenauslösung
- Überwachungsanlage (integriert oder alleinstehend)
- Alarmanlage (integriert oder alleinstehend)

Je nach Anwendungsbereich haben Detektionssysteme einen unterschiedlichen Einfluss auf die Risikoreduktion.

Es bleibt weiters als generelle Konklusion festzuhalten, dass die Auftragsforschung auf Kooperationen, konkret zwischen Verwaltung, Forschung und Lieferanten, angewiesen ist. Mit Projekten wie dem hier beschriebenen kann aufgezeigt werden, dass diese Forschung/Entwicklung einen ganz konkreten Nutzen für die Gesellschaft entfaltet. Der Beitrag der Verwaltung liegt neben der Mitfinanzierung auch darin, dass neuen Erkenntnissen und neuen

Produkten zum Durchbruch verholfen werden kann. So können die vorliegenden Ergebnisse in zukünftige Projekte für Schutzmassnahmen berücksichtigt werden.

Zusätzliche und detailliertere Informationen zum Projekt Gonda, z.B. technische Details der Installationen, Kosten, Methodik Erfolgskontrolle, Energieversorgung, sind im Abschlussbericht (Publikation im Dezember 2018) verfügbar.

5. AUSBLICK

Bei allen besprochenen Detektionstechnologien hat es in den letzten Jahren signifikante technologische Fortschritte gegeben – derzeitige Entwicklungen lassen darauf schliessen, dass sowohl die Leistung (Reichweite und Auflösung), die Zuverlässigkeit (Detektionswahrscheinlichkeit, Fehlalarmrate) als auch die Nutzerfreundlichkeit aller Systeme in naher Zukunft noch weiter zunehmen wird (Steinkogler et al. 2016 und 2018).

6. DANKSAGUNG

Ein grosser Dank gilt Gian Andri Goldy für die Erarbeitung der Erfolgskontrolle und deren Durchführung im Rahmen seiner Bachelorarbeit sowie Giorgio Renz und Madlaina Gremlich (beide Amt für Wald und Naturgefahren) für die Aufbereitung der Daten.

REFERENZEN

Godly, G. 2015. Erfolgskontrolle bei der automatisierten Lawinendetektion. Am Beispiel des Laviner da Gonda bei Lavin GR. Bachelorarbeit; Studiengang Forstwirtschaft, HAFL, Berner Fachhochschule

Kienberger, C. 2013. Beurteilung von Lawinendetektionssystemen und Entwicklung eines Funktionsschemas für eine einfache Detektionsanlage. Report

Lussi D, Schoch M, Meier L, Ruesch M 2012. Projekt Lawinendetektion. Schlussbericht. Davos, 43 S.

Kindschi, 2004, Künstliche Lawinenauslösung Gonda. Schlussbericht

Steinkogler, W., Meier, L., Langeland, S., Wyssen, S. 2016. Avalanche detection system: A state-of-the art overview on selected operational radar and infrasound systems, Interpraevent 2016, Lucerne, Switzerland.

Steinkogler, W., Infrasound detection of avalanches: Operational experience from 28 combined winter seasons and future developments, International Snow Science Workshop ISSW 2018, Innsbruck, Austria

Thüring, T. 2015. Robust snow avalanche detection using supervised machine learning with infrasonic sensor arrays; Journal Cold Regions Science and Technology, Volume 111.