



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

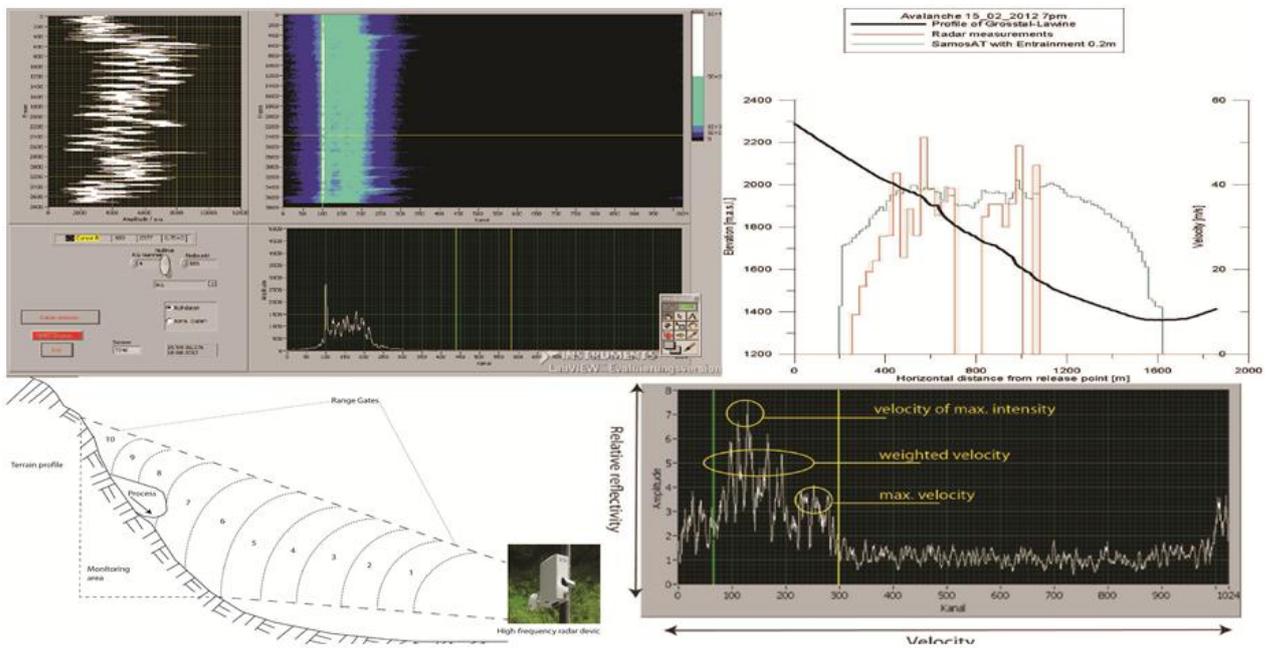
Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN

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



IAN REPORT 149

Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik Band 1: Machbarkeitsstudie



Im Auftrag:

**Österreichische
Forschungsförderungsgesellschaft**

FFG

**Im Rahmen der Pilotinitiative
Verkehrsinfrastrukturforschung 2011**

(VIF 2011)

Wien, Oktober 2012



INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG.....	4
ALPINE NATURGEFAHREN UND WARNSYSTEME.....	5
MESSKONZEPT DES NATURGEFAHREN-RADARGERÄTES.....	6
PROJEKTVERLAUF PHASE 1 „MACHBARKEITSSTUDIE“.....	7
WARNKONZEPT DES NATURGEFAHREN-RADARGERÄTES.....	8
TESTLAUF AUTOMATISCHE MURGANGDETEKTION „LATTENBACH“	12
ZUSAMMENFASSUNG DES PROJEKTVERLAUFS UND AUSBLICK	18
ANHANG.....	20
Lastenheft / Pflichtenheft für die automatische Detektion von Naturgefahren	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: (a) Schematische Darstellung der Beleuchtung eines Berghanges mit einem pulsförmigen elektromagnetischen Wellenpaket, (b) Beleuchtung eines Berghanges mit Sicht von oben-----	7
Abbildung 2: Darstellung zur Schwellenwertfestlegung (Quelle: Schmidt 2002)--	10
Abbildung 3: Ablauf einer Alarmierung innerhalb des ÖBB-Naturgefahrenmanagements (Quelle: Rachoy 2012, geändert)-----	11
Abbildung 4: Lageskizze der Radaranlage am Lattenbach (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)-----	13
Abbildung 5: Darstellung der Abflussgeschwindigkeits- und Abflussvolumenmessung anhand gemessener Radardaten (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)-----	15
Abbildung 6: Verlauf der Ultraschallpegelmessungen des Ereignisses (Lattenbach 26.08.12) (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)-----	16
Abbildung 7: Auswertung des Ereignisses (Lattenbach 26.08.12) anhand gemessener Radardaten (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)-----	17

Abbildung 8: Darstellung der Range Gates und der gemittelten gemessenen Geschwindigkeit des Ereignisses (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

----- 18

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Technische Daten der HS-Hochfrequenztechnik Radareinheit (Quelle: H&S Hochfrequenztechnik 2012) 25

1 KURZFASSUNG

Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen stellt ein modernes und zukunftsfähiges Konzept im Umgang mit Naturgefahren dar. Die Kriterien der Zuverlässigkeit der Detektion und das Maß an Vertrauen an die Messdaten sind als Grundpfeiler in der Frühwarnung von Naturgefahren anzusehen. Das geplante Forschungsprojekt präsentiert einen neuen Ansatz im Bereich von Frühwarnsystemen alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik, welche es ermöglichen sollte zuverlässig und mit genügender Vorwarnzeit vor Naturgefahren zu warnen. Es werden eigens entwickelte Hard- und Softwarekomponenten herangezogen, um neben einer erheblichen Detektionsrate, auch Informationen zur Disposition, anhand Niederschlagsdetektion und Messung von Pegelständen, von Naturgefahrenprozessen zu gewinnen. Das Ergebnis des Vorhabens ist die Entwicklung eines innovativen Mess- und Frühwarnsystems zur automatischen Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik. Aktivitäten des projektierten Gebietes (Bachabschnitt, Felswand, ...) sollen zuverlässig gemessen und die Daten an entsprechende Schnittstellen des Naturgefahrenmanagements weitergeleitet werden. Das zu entwickelnde System operiert mit einer neuartigen Radartechnologie, wodurch der benötigte Energiebedarf über Solarstrom gewonnen werden kann. Mit Hilfe der energieautarken Solarstromversorgung und dem geringen Gewicht der Anlage ist ein rascher Aufbau in jedweder Umgebung möglich. Durch ein modulares Systemdesign ist die Anlage beliebig erweiterbar (simultane Abtastung im Bereich der Prozessentstehung und im Einwirkungsbereich). Somit soll ein nachhaltiger und zukunftsfähiger Beitrag zur Erhöhung des Schutzes menschlichen Lebens und wirtschaftlichen- sowie kulturellen Gutes im alpinen Raum geschaffen werden. Das Naturgefahren-Radargerät der Auftragnehmer soll alle Attribute seitens der Auftraggeber an ein Frühwarnsystem für Naturgefahren erfüllen, wobei großes Augenmerk auf die Zuverlässigkeit der Detektion gefährlicher Naturereignisse und eine entsprechende Vorwarnzeit für die Setzung geeigneter Sofortmaßnahmen gelegt wird. Die Implantation des präsentierten Systems in das bestehende Naturgefahrenmanagement der Auftraggeber (je nach ihren Anforderungen und entsprechend dem jeweiligen Lastenheft) ist als zusätzliches Primärziel anzusehen. Das zu präsentierte Warnsystem ist in praxisnahen Versuchen auf dessen Eignung (Aufbau, Inbetriebnahme und Warnungsablauf) getestet worden. Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungsprojektes zielen auf einen wissenschaftlich fundierten Fortschritt in der Frühwarnung von Naturgefahren ab, wobei ein

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

ganzheitliches Warnsystem für die Detektion alpiner Massenbewegungen als Endprodukt entwickelt werden soll. Ferner wird ein ausschreibungsfähiges Lastenheft entwickelt. Dieses Lastenheft beinhaltet essentielle Anforderungen an ein Frühwarnsystem und stellt die Grundlage für die Förderung derartiger Systeme dar. Das Lastenheft findet sich im Anhang dieser Studie wieder.

2 ALPINE NATURGEFAHREN UND WARNSYSTEME

Der Einsatz von standardisierten Warn- und Monitoringsystemen im Bereich des Naturgefahrenmanagements befindet sich noch in einem frühen Stadium der Entwicklung. Zudem hat der Terminus „Frühwarnung“ zum jetzigen Zeitpunkt in der Fachliteratur noch keine eindeutige Zuordnung erhalten. Schmidt (2002) beschreibt Frühwarnsysteme, als technische Einrichtungen, die dazu geeignet sind Naturgefahrenprozesse, rechtzeitig zu detektieren und bei Überschreitung eines voreingestellten Schwellenwertes (z.B.: Geschwindigkeiten, Intensitäten, ...), automatisch eine Warnung aussenden, um das Risiko, Schaden aus einem Naturgefahrenprozess zu erleiden auf ein Minimum zu reduzieren. Monitoringanlagen erfassen systematisch alle Prozessaktivitäten mittels technischer Beobachtungssysteme (Messsensoren) und haben die Funktion, bei einem beobachteten Prozess rechtzeitig über diesen zu informieren, um geeignete Vorkehrungen (Sofortmaßnahmen auf das Ereignis) treffen zu können, sofern der Naturgefahrenprozess nicht den gewünschten Verlauf nimmt, oder bestimmte Schwellenwerte unter- bzw. überschritten werden (Rudolf-Miklau 2009).

Die Auswahl der Position für die Messsensoren eines Warn- und Monitoringsystems, im speziellen für kurzfristige und dadurch ebenfalls in Echtzeit durchgeführte Warnungen bei Naturgefahren, spielt eine entscheidende Rolle und muss entsprechend der gegebenen Prozessvariabilität und dem Schutzbedürfnis der betroffenen Akteure angepasst werden. Die Zuverlässigkeit eines Warnsystems und der damit einhergehenden Warnungs- und Datenqualität ist bei Messungen des Naturgefahrenprozesses im Ablagerungs- und Einwirkungsbereich am größten. Wird das gewünschte Prozessmerkmal bereits in der Entstehungszone gemessen, nimmt die potentielle Reaktionszeit auf das Ereignis zu, jedoch nimmt die Zuverlässigkeit der Warnung ab und erhöht damit die Möglichkeit von Fehlalarmen. Ein Warnsystem für Naturgefahren ist ein hochkomplexes System, bestehend aus den Subsystemkomponenten Naturwissenschaft, Technik und Katastrophenmanagement, wobei jede Komponente eine oder mehrere Aufgaben zu decken hat:

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

- Naturwissenschaft – ereignisbezogene Schwellenwerte für die Alarmauslösung
- Technik – Erfassung der Auslösefaktoren (Messsensorik)
- Katastrophenmanagement – zentrale Überwachung der eingehenden Messdaten und Weitergabe der Warnung an entsprechende Instanzen

3 MESSKONZEPT DES NATURGEFAHREN-RADARGERÄTES

Das Radargerät zur Detektion von Naturgefahren basiert auf einem phasencodierten Pulsradar. Das Pulsradar verwendet dieselbe Antenne sowohl zum Senden wie auch zum Empfangen. Der Sender erzeugt einen Trägerimpuls mit relativ kurzer Dauer (etwa 1 μ s) und sendet diesen mit hoher Frequenz und bei hoher Leistung über die Antenne aus. Anhand Pulsradarmessungen lassen sich sowohl Richtung, Entfernung, Radialgeschwindigkeit, sowie die aktuelle Höhenlage eines Zielobjektes ausmachen (Wolff (s.a.)). Zum Zeitpunkt der Impulsaussendung erfolgt eine Zeitmessung ab dessen Beginn bis zum Eintreffen des korrespondierenden Echosignals. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit bekannt ist (Lichtgeschwindigkeit c) lässt sich der Abstand zwischen Radarantenne und Zielobjekt ermitteln. Das Naturgefahren-Radargerät tastet das gesamte Beobachtungsgebiet mit diesen relativ kurzen Schwingungspaketen ab. Die Abtastung passiert im Mikrosekunden Bereich (3 Messungen in der Sekunde).

Die diskreten Zeitpunkte der Messungen sind genau im Abstand der räumlichen Pulslänge (Range Gate Länge) angeordnet. Geht man von einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit aus (Lichtgeschwindigkeit) erhält man aus dem Produkt dieser mit einer gegebenen Pulsdauer die dementsprechende Range Gate Länge (Abbildung 1a und 1b).

$$r_{RG} = c_0 * \tau \text{ [m]}$$

r_{RG} ... Range Gate Länge [m]

c_0 ... Lichtgeschwindigkeit [$3 \cdot 10^8$ m/s]

τ ... Impulsdauer [s]

Der interne Sender erzeugt hochfrequente Schwingungen im Frequenzbereich von 10,425 GHz (X-Band). Das X-Band in der Mikrowellentechnik umfasst den Frequenzbereich zwischen 8 GHz und 12 GHz, wobei Wellenlängen im Zentimeterbereich (3,75 cm bis 2,5 cm) auftreten. Die Implementation des Pulscompressionsverfahrens ermöglicht sowohl die freie Entscheidung über die Sendepulsdauer sowie auch die Wahl der Entfernungsauflösung beliebig gestaltet werden kann.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

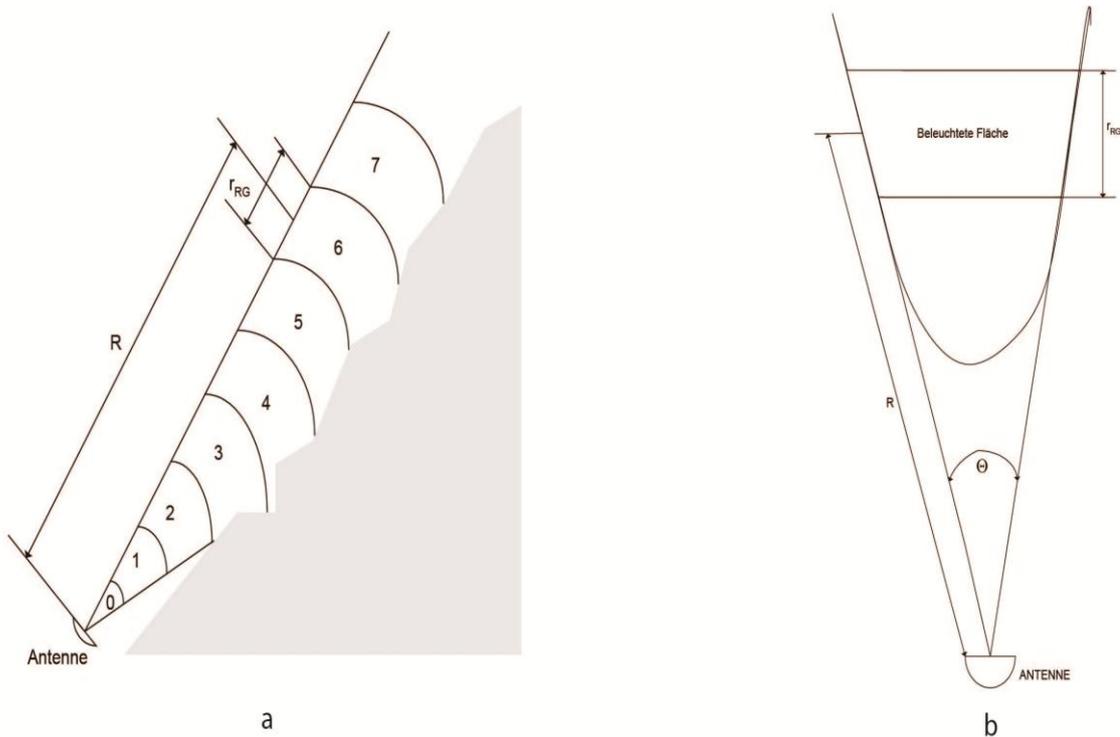


Abbildung 1: (a) Schematische Darstellung der Beleuchtung eines Berghanges mit einem pulsformigen elektromagnetischen Wellenpaket, (b) Beleuchtung eines Berghanges mit Sicht von oben (Quelle: H&S Hochfrequenztechnik GmbH 2012)

Mit dem H&S Naturgefahren-Radar ist es nun möglich bewegte Objekte (z.B.: Murgänge, und Schneelawinen) mit ca. 1 m² Fläche in einer Entfernung von 2 km und Geschwindigkeiten zwischen 1 und 300 km/h bei einem Antennenöffnungswinkel von 5° sicher zu detektieren. Auf diesem Weg können bis zu maximal 38 Range Gates für die Prozessdetektion herangezogen werden (auf 2 km Entfernungsmessung). Je näher ein Objekt ist, desto kleiner kann das Objekt sein bzw. desto größer kann der Antennenöffnungswinkel sein. Für die Detektion schnellerer und kleinerer Objekte (z.B.: bei Steinschlagprozessen) kann bei gleicher Konfiguration des Systems (5° Öffnungswinkel) eine Fläche von ca. 0,5 m² auf eine Entfernung von 500 m zuverlässig erkannt werden. Die zu detektierende Objektauflösung abhängig von der Objektgeschwindigkeit, der Reflexionseigenschaften des Objektes, der Range Gate Länge, der Entfernung des Objektes zum Radargerät, etc. abhängig, wodurch definitive Objektauflösungsangaben nur für den jeweilig vorliegenden Fall getroffen werden können. Das H&S Naturgefahren-Radargerät lässt sich auf die jeweiligen Anforderungen einstellen

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

(z.B.: Range Gate Länge, Entfernung zum Prozess, Öffnungswinkel der Antenne, ...). Die Radaranlage kann auch mit mehreren Antennen betrieben werden, sodass eine größere Fläche überwacht werden kann. Weiters kann die Anlage mit anderen Sensoren gekoppelt werden. Damit wird eine umfassende Überwachung verschiedener interessanter Parameter möglich.

Die Auswertungssoftware ist derzeit für die Detektion von Lawinenabgängen fertiggestellt und erfolgreich getestet worden. Sie wird gerade für den Bereich der fluviatilen Gefahrenprozesse angepasst. Wie die bis jetzt erhaltenen Daten zeigen, kann das Radar aber nicht nur bei Großereignissen zur Alarmauslösung zuverlässig eingesetzt werden, sondern es kann eine sinnvolle Ergänzung zur Wetterdatenerfassung und Pegelstandmessung/Abflussvolumen darstellen. Für diesen Zweck muss aber die Software weiterentwickelt werden. Ziel ist ein Radargerät, welches die Funktionen eines Niederschlagsradars, eines Pegelmesssystems und ein Warnsystems für Muren in einem Gerät vereint.

4 PROJEKTVERLAUF PHASE 1 „MACHBARKEITSSTUDIE“

Im Rahmen der Phase 1 „Machbarkeitsstudie“ wurde die Kooperation des IAN und der H&S Hochfrequenztechnik GmbH forciert und durch Nutzung der Synergien ein souveränes Grundgerüst für die zufriedenstellende Erfüllung der gestellten Projektanforderungen dargelegt.

Das Ziel der Arbeitsgemeinschaft ist es, nicht nur eine Machbarkeits- bzw. Potentialstudie über den Einsatz von Hochfrequenzradartechnik im Naturgefahrenbereich zu liefern, sondern bereits vorläufige Versuchsergebnisse erster Testläufe von Hard- und Software zu präsentieren. Zu diesem Zweck wurden zwei Testläufe mit unterschiedlichen Anforderungen an das Warnsystem erfolgreich initiiert und vorläufige Ergebnisse gewonnen. Im ersten Testlauf wurde das Gerät für die Verifikation von künstlich ausgelösten Lawinen herangezogen. Darüber hinaus sollten auch Spontanlawinen detektiert und anhand eines eigens entwickelten Auswertungsalgorithmus die lawinenspezifischen Radardaten analysiert werden. In Kooperation mit den zuständigen Akteuren wurde der Einsatz des Radargerätes als selbstständig operierendes Warnsystem getestet und evaluiert. Der erste Geräteeinsatz in der Wintersaison 2011/12 zeigte, dass es nach anfänglicher Beobachtung (2 Monate) der störenden Umwelteinflüsse (z.B.: starker Wind, Verwirbelungen mit einhergehendem Schneetreiben, ...) möglich war, den Algorithmus der Auswertesoftware für die Alarmierung soweit

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

anzupassen, dass die restliche Wintersaison das Naturgefahren-Radar zuverlässige Daten und Information über Naturereignisse im Beobachtungsgebiet (Kogelnig et al. 2012) lieferte. Derzeit wird das Radardetektionsgerät u.a. von Wyssen Avalanche Control AG und Interfab Snow Business als Ergänzung zu bestehenden Produkten angeboten.

Ausgehend vom erfolgreichen Verlauf der Lawinendetektion wurden im zweiten Testlauf die Messprinzipien und das Potential der Warnanlage im Bereich von fluviatilen Naturgefahrenprozessen überprüft. Hierzu wurde die Hardware am Lattenbach in Grins (Tirol) installiert und in Betrieb genommen.

5 WARNKONZEPT DES NATURGEFAHREN-RADARGERÄTES

Um das Design eines Warnsystems abzuschließen, muss auch das Konzept der Alarmauslösung definiert werden. Der Ablauf der Erfassung und die Aufbereitung der Messdaten wurden bereits in den vorherigen Kapiteln ausführlich behandelt. Im nachfolgenden Abschnitt wird daher näher auf die Entscheidungsebene und auf den Alarm- und Maßnahmenplan eingegangen. Für die Warnauslösung können mehrere Warnstufen (z.B.: Vorwarnung, Warnung, Alarmierung) unterschieden werden.

Die Entscheidungsebene ist eng verknüpft mit der Auswertungsebene und sollte im Idealfall automatisch ablaufen, da für eine mechanische Entscheidung auf ein Alarmierungssignal eines Experten meist keine Zeit vorhanden ist. Die Entscheidung, welche geeigneten Sofortmaßnahmen, in Abhängigkeit der vorliegenden Warnstufe, getroffen werden können, wird bereits in der Auswerteebene gefällt. In der Auswerteebene werden die gesammelten Daten aufbereitet, interpretiert und analysiert. In ihr wird entschieden, ob es zu einer Alarmierung kommt oder nicht. Hierfür werden die gewonnenen Daten dem voreingestellten Schwellenwert gegenübergestellt, bei dessen Überschreitung eine Alarmierung erfolgt. Bei der Definition des Schwellenwertes gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, um einerseits Fehlalarme zu minimieren und andererseits eine zuverlässige Warnung auszugeben. Grundsätzlich jedoch müssen die Signalstärke und die Signaldauer berücksichtigt werden (Abbildung 2). Das Messkonzept der vorgestellten Radartechnik sowie eine Beschreibung möglicher Ansätze für die Schwellenwertdefinition wurde bereits in einem früheren Kapitel „Einsatzfähigkeit der Radartechnik im Naturgefahrenmanagement“ behandelt.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

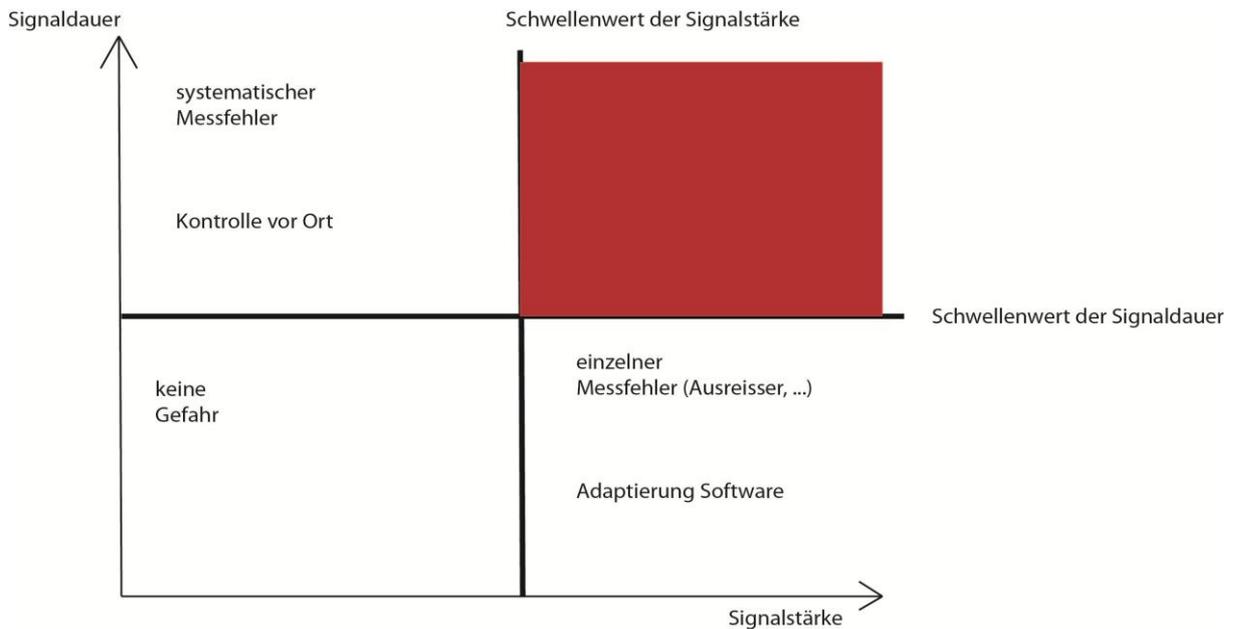


Abbildung 2: Darstellung zur Schwellenwertfestlegung (Quelle: Schmidt 2002)

Nach Schmidt (2002) ist im Alarmplan geregelt, welche Entscheidungsträger und/oder Institutionen, in Abhängigkeit der vorliegenden Warnungsstufe, in welcher Reihenfolge informiert werden. Der Maßnahmenplan beinhaltet alle möglichen Reaktionen/Sofortmaßnahmen auf eine Alarmierung, wieder in Abhängigkeit der vorliegenden Warnstufe, von welchen Entscheidungsträgern und/oder Institutionen in welchem zeitlichen Ablauf umzusetzen sind. Die Konzeption eines schlüssigen Alarm- und Maßnahmenplans hat immer in Absprache und in enger Zusammenarbeit mit der betreffenden Gesellschaft zu erfolgen. Ein Beispiel, wie diese Pläne im Kontext eines Warnsystems für die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) aussehen könnten, wird im folgenden Abschnitt wiedergegeben.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

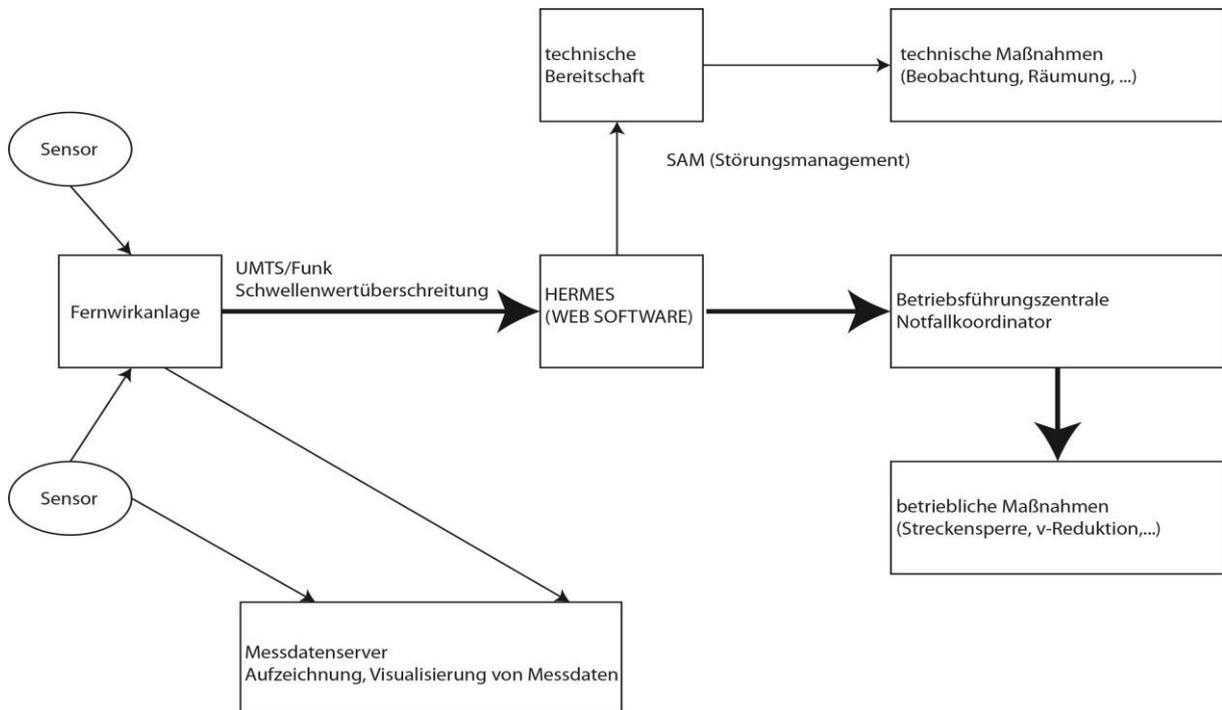


Abbildung 3: Ablauf einer Alarmierung innerhalb des ÖBB-Naturgefahrenmanagements
 (Quelle: Rachoy 2012, geändert)

In Abbildung 3 wird der allgemeine Ablauf einer Warnung des Naturgefahrenmanagements innerhalb der ÖBB dargestellt. Demzufolge erfolgt die Datenweitergabe einem strikten Muster. Von den jeweiligen Messsensoren werden die Prozessdaten gesammelt, ausgewertet und archiviert. Im nächsten Schritt teilt sich der Datenfluss, entsprechend der Anforderungen des Zielortes, auf. Die Einspeisung der erhobenen Messdaten und die darauf basierenden Analysen erfolgen über eine von der ÖBB betriebene Fernwirkanlage. Über diese Anlage werden die Messdaten innerhalb des ÖBB Naturgefahrenmanagements an die jeweiligen Entscheidungsträger verteilt.

Es werden die gesamten Daten (Rohdaten und Ergebnisse) auf einen Messdatenserver via Funk/UMTS gespielt und abgelegt. An den Informationsverteiler der ÖBB „HERMES“ werden nur bereits ausgewertete Daten, ebenfalls via FUNK/UMTS, weitergeleitet. Das „HERMES-System“ verteilt die Daten an den technischen Bereitschaftsdienst vor Ort und an den Notfallkoordinator in der Betriebsführungszentrale.

Der technische Bereitschaftsdienst besteht aus einem fachlich ausgebildeten Team. Es liegt durchaus im Bereich des Möglichen, diesem Team detailreiche Informationen über die aktuelle Situation im Einsatzbereich zukommen zu lassen. Demzufolge kann das

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Störungsmanagement (kurz SAM) im Bereich der Murgangwarnung z. B. mit Informationen über die variable Disposition anhand der Niederschlagsauswertung (Wetterradar) und über Informationen des aktuellen Pegelstands/Abflussvolumen versorgt werden. Dem SAM wird somit eine Art Vorwarnung zugesandt, anhand welcher über technische Maßnahmen (z.B.: Beobachtung vor Ort, Räumung, ...) frühzeitig entschieden werden kann.

Der Notfallkoordinator hingegen sitzt in der Betriebsführungszentrale, weit entfernt vom Gefahrenbereich und ist weder fachlich in der Lage die Informationen zu interpretieren, noch steht dafür genügend Zeit zur Verfügung. Der Notfallkoordinator soll nur die Information erhalten, welche betrieblichen Sofortmaßnahmen er zu welchem Zeitpunkt einzuleiten hat (Ja/Nein-Abfrage). Die betrieblichen Maßnahmen der ÖBB umfassen derzeit Geschwindigkeitsreduzierungen, die Sperrung von Streckenabschnitten und dergleichen. Eine Adaption/Weiterentwicklung dieser Maßnahmen in Zusammenhang mit der Warnung des Radargerätes liegt durchaus im Bereich des Möglichen. Weitergehende Untersuchungen hierzu werden in Phase zwei der VIF 2011 geführt.

Ein ähnlicher Alarmierungsablauf wurde bereits im Testlauf „Grosstal-Lawine“ in Ischgl angewandt. Der positive Abschluss dieser Testphase lässt erahnen, dass das Naturgefahren-Radargerät auch im Naturgefahrenmanagement der ÖBB sein volles Potential entwickeln kann.

6 TESTLAUF AUTOMATISCHE MURGANGDETEKTION „LATTENBACH“

Der Lattenbach, seit über 100 Jahren ein Arbeitsfeld des Forsttechnischen Dienstes der Wildbach- und Lawinenverbauung, besitzt ein ca. 5,3 km² großes Einzugsgebiet, in welchem die tektonische Grenze zwischen Silvrettakristallin und den nördlichen Kalkalpen verläuft, wodurch es für großräumige Massenverlagerungen prädestiniert ist. Trotz zahlreicher aktiver Schutzmaßnahmen ist das Siedlungsgebiet in Grins und Pians am nur geringmächtig ausgeprägten Ablagerungskegel im Außenbogen der Sanna durch Muren und geringfügig durch Lawinen bedroht (Hübl et al. 2004). Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde ein Radargerät zur Überwachung des Lattenbaches nächst der Gemeinde Grins aufgebaut, installiert und in Betrieb genommen. Als Ziel wurde ein praxisnaher Testlauf angestrebt, um die Prinzipien und das Potential des Naturgefahren-Radars für die Warnung von Muren und anderen fluviatilen Prozessen zu prüfen. Das Radargerät wurde hierfür an einer Brücke auf einer eigens dort platzierten Halterung

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

angebracht. Mit dem von uns ausgesendeten Radarkegel lässt sich das Bachbett permanent auf eine Länge von ca. 700 m flussaufwärts abtasten. Die Radarantenne besitzt einen Öffnungswinkel von 10° und sendet alle 0,3 Sekunden einen Impuls aus. Alle zehn Minuten werden alle Daten als ein kompaktes Datenpaket über eine UMTS-Schnittstelle an einen Datenserver gesendet und archiviert. Für den Lattenbach wurden sechs Range Gates mit einer Länge von je 25 m definiert. Die Range Gates Nr. 1 (nächst der Radaranlage) wird nicht genau genug erfasst, um repräsentative Aussagen treffen zu können. Range Gate Nr. 2 und 6 werden nur zum Teil, die Range Gates Nr. 3, 4 und 5 völlig abgetastet. Die Messungen der Radaranlage wurden des weiteren mit den Messergebnissen von zwei Ultraschallpegeln¹ zur Messung des Pegelschlüssels kombiniert. Ein Lagenskizze sowie eine Illustration der Anlage am Lattenbach finden sich in Abbildung 4 wieder.



Overview of Lattenbach catchment, arrows show position of radar device and projected area (Source: tirisMaps)

Abbildung 4: Lageskizze der Radaranlage am Lattenbach (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

¹ Die Ultraschallpegel befinden sich in unmittelbarer Nähe des Abtastbereichs des Radars.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Im Versuchsverlauf wurde festgestellt, dass das Naturgefahren-Radargerät in der Lage ist den aktuellen Abfluss zu detektieren und die gemessenen Radardaten einerseits für die Fließgeschwindigkeitsanalyse sowie andererseits für die Abflusshöhenmessung herangezogen werden können. In Abbildung 5 wird die Auswertung des Intensitätsverlaufs des Radarechosignals im Range Gate Nr. 3 gezeigt. Insgesamt liefern fünf Range Gates Informationen zum Geschehen im Bachlauf, wobei sich die Länge eines Range Gates auf 25 m beläuft. Es sei der Messverlauf des Radarechosignals über August 2012 in 10 Minuten-Schritten dargestellt. Im größten Fenster (Position rechte obere Ecke) beschreibt die Y-Achse den zeitlichen Horizont der Messung und auf der X-Achse sind die gemessenen Geschwindigkeiten aufgetragen. Der Auswahlcursor in diesem Fenster befindet sich in einem Messbereich mit normalem Wasserstand. Der Graph links oben zeigt den Intensitätsverlauf (Amplitude) des Radarechosignals über die Zeit bei Geschwindigkeitskanal 200 (= ca. 2 m/s). Der Graph im rechten unteren Eck gibt das gemessene Geschwindigkeitsspektrum relativ zur Echointensität zu einem spezifischen Zeitpunkt (Steuerung durch Auswahlcursor) wieder. Die Fläche unterhalb der Geschwindigkeitsverteilung stellt das Abflussvolumen dar und variiert je nach Wasserstand.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

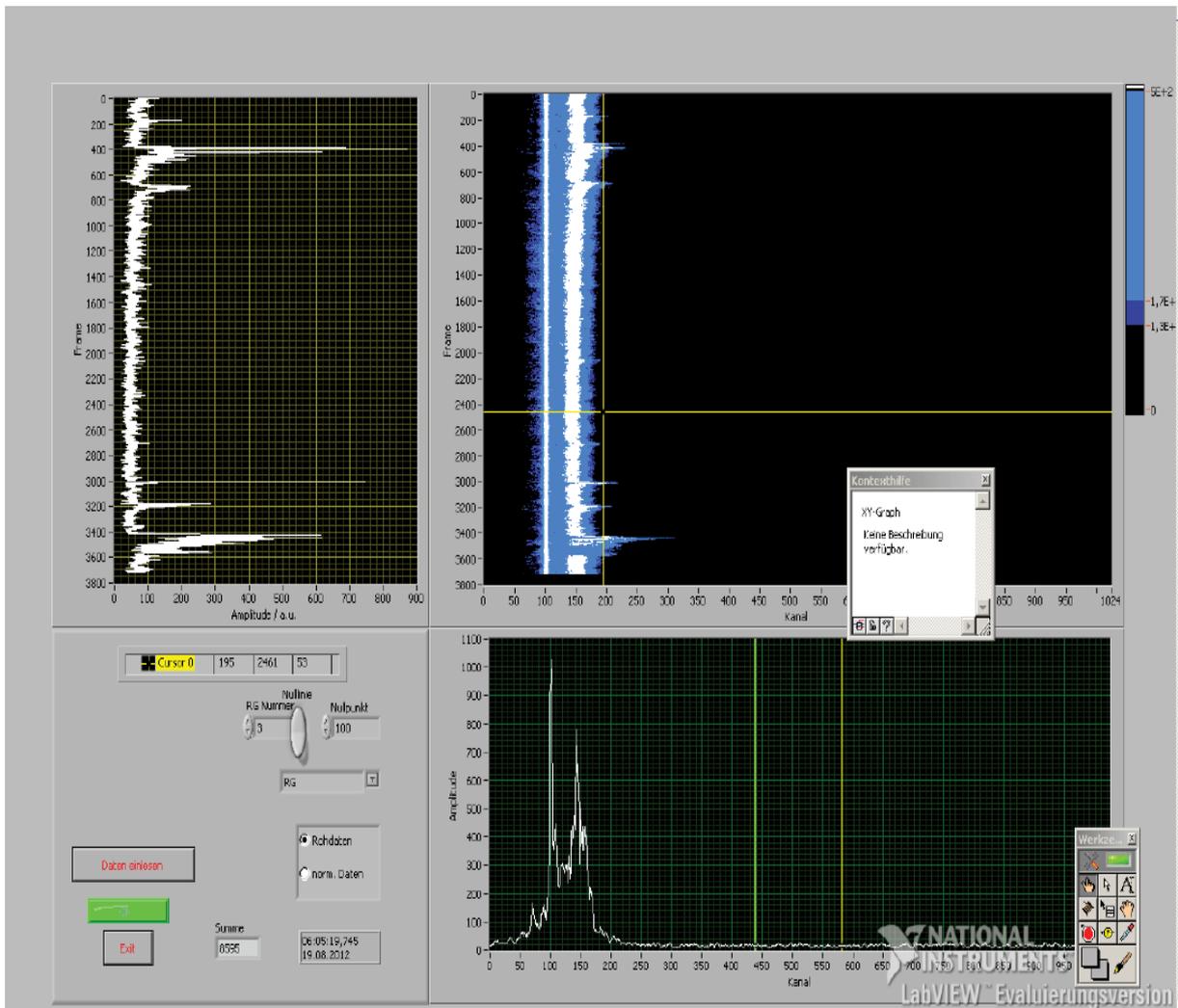


Abbildung 5: Darstellung der Abflussgeschwindigkeits- und Abflussvolumenmessung anhand gemessener Radardaten (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

In der Nacht vom 26. auf den 27. August 2012 kam es im Einzugsgebiet des Lattenbaches aufgrund langanhaltender Niederschläge zu einem kleineren Murgangereignis. Der Gefahrenprozess wurde sowohl von der Radaranlage, wie auch von den Ultraschallpegeln des Institutes für Alpine Naturgefahren detektiert und aufgezeichnet. Aufgrund der Überschneidung der jeweilig beobachteten Gebiete beider Messensoren konnte anhand der Datenauswertung von Radar- und Ultraschallpegelmessungen eine absolute, wie auch eine gemittelte Geschwindigkeit berechnet werden. Die Ultraschallpegel messen permanent den Wassertand in jenem Bereich der das Range Gate Nr. 3 der Radaranlage entspricht. Für die Berechnung der absoluten Geschwindigkeit des Ereignisses wurden daher die Aufzeichnungen zweier

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Messpegel in einer Entfernung von ca. 45 m zueinander herangezogen. In Abbildung 6 wird der Verlauf der Pegelmessung präsentiert. Das Diagramm zeigt auf der X-Achse die Zeit (UTC/GMT + 1h) und auf der Y-Achse die Abflusshöhe [cm]. Das Diagramm zeigt zwei markante Pegelanstiege mit einer zeitlichen Differenz von ca. 7 Sekunden, resultierend in einer anzunehmenden Fließgeschwindigkeit von ca. 6,4 m/s.



Abbildung 6: Verlauf der Ultraschallpegelmessungen des Ereignisses (Lattenbach 26.08.12) (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

In Abbildung 7 wird wiederum die Auswertung des Intensitätsverlaufs des Radarechosignals im Range Gate Nr. 3 gezeigt, wie auch der Messverlauf des Radarechosignals über den gesamten August 2012 in 10 Minuten-Schritten dargestellt ist. Im größeren Fenster rechts oben der Auswertungssoftware ist beschrieben die Y-Achse den zeitlichen Horizont der Messung und auf der X-Achse sind die gemessenen Geschwindigkeiten aufgetragen. Der Auswahlcursor in diesem Fenster befindet sich in einem Messbereich des Murgangereignisses vom 26. August 2012. Der Graph links oben zeigt den Intensitätsverlauf (Amplitude) des Radarechosignals über die Zeit bei Geschwindigkeitskanal 200 (= ca. 2 m/s). Der Graph im rechten unteren Eck gibt das

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

gemessene Geschwindigkeitsspektrum, relativ zur Echointensität, zu einem spezifischen Zeitpunkt (Steuerung durch Auswahlcursor) wieder. Sowohl in der oberen rechten Graphik, sowie auch im linken Graphen sind eindeutige Messspitzen (Peaks) zu erkennen. Diese Peaks korrelieren mit den erhöhten Wasserständen während des Ereignisses. Die Fläche unterhalb der Geschwindigkeitsverteilung im unteren Graphen stellt das Abflussvolumen dar und ist entsprechend der Prozessintensität des Murganges um einiges höher, als jenes bei normal hohen Wasserständen (Vgl. zu Abbildung 4).

Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit des Prozesses wurde der Geschwindigkeitsverlauf der Range Gates analysiert und gemittelt. Bei einer Range Gate Länge von 25 m und einer durchschnittlichen Durchlaufzeit von ca. 6 Sekunden eines Range Gate konnte eine durchschnittliche Fließgeschwindigkeit von ca. 5,22 m/s für den beobachteten Bereich ermittelt werden.

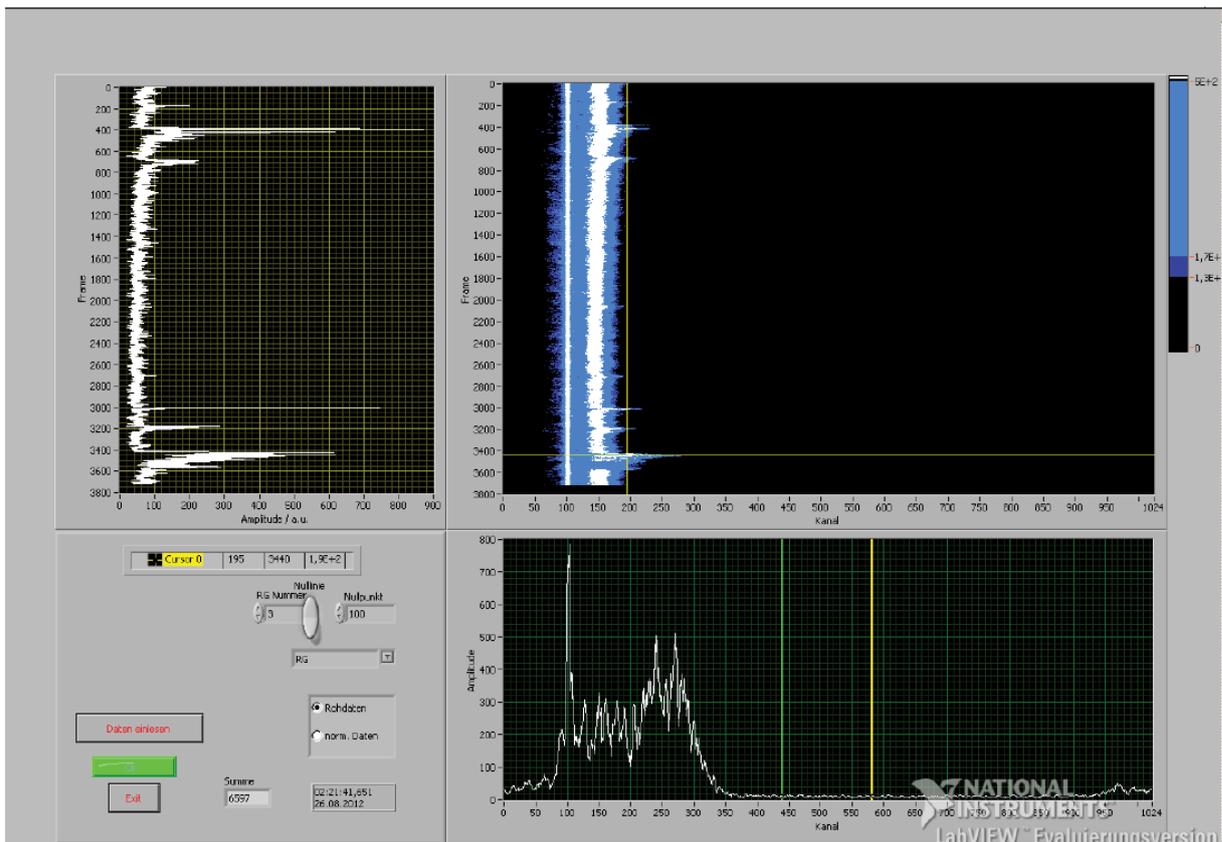


Abbildung 7: Auswertung des Ereignisses (Lattenbach 26.08.12) anhand gemessener Radardaten (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Abbildung 8 zeigt eine Darstellung des Längsprofils des beobachteten Gebiets des Lattenbachs. Zusätzlich ist die Range Gate Abgrenzung, sowie die mittleren gemessenen Fließgeschwindigkeiten des Murgangereignisses vom 26. August 2012 aufgetragen.

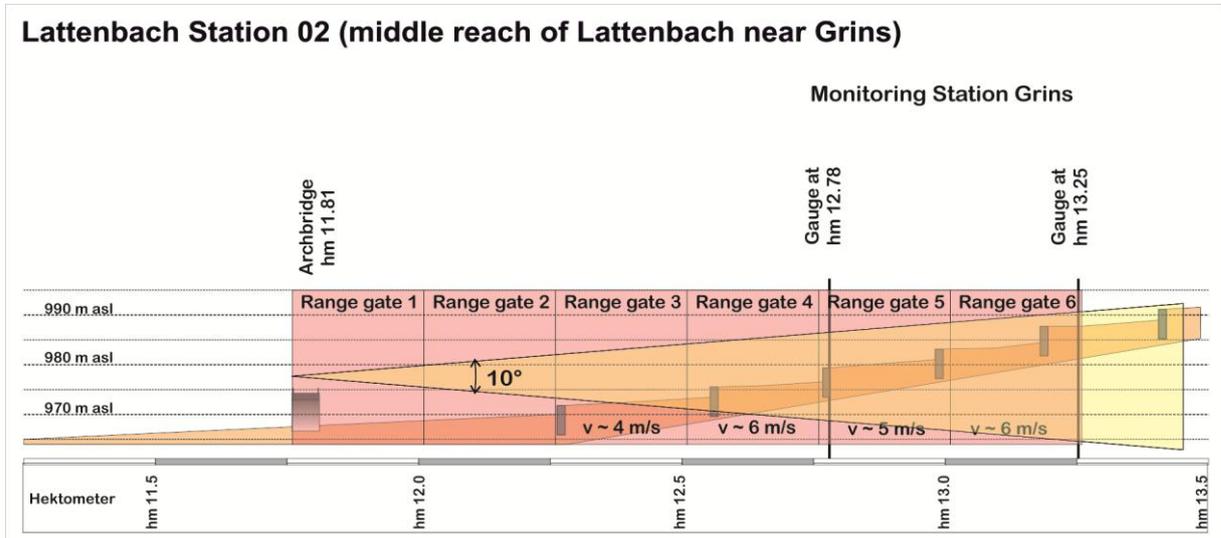


Abbildung 8: Darstellung der Range Gates und der gemittelten gemessenen Geschwindigkeit des Ereignisses (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

7 ZUSAMMENFASSUNG DES PROJEKTVERLAUFS UND AUSBLICK

Die Erfahrungen aus den ersten beiden praxisnahen Testläufen in der Wintersaison 2011/12 und im Sommer 2012 zeigten auf beeindruckende Art und Weise das enorme Potential der präsentierten Radartechnik im Einsatz als selbstständiges Warn- und Monitoringsystem im Naturgefahrenbereich. Wie unsere derzeitigen Testergebnisse beweisen, können sowohl Schneelawinen als auch fluviatile Naturgefahrenprozesse mit dem Naturgefahren-Radar detektiert und interpretiert werden. Zudem wurde festgestellt, dass mit dem Einsatz der Radartechnik der Projektpartner H&S Hochfrequenztechnik GmbH auch Wasserstände/Abflussvolumina und Fließgeschwindigkeiten normaler Abflüsse ermittelt werden können und eine Detektion von Starkniederschlagsereignissen möglich ist. Über den gesamten Zeitraum der beiden Testläufe gab es keinerlei Einschränkungen der Messungen durch Umwelteinflüsse und/oder Sekundärprozesse. Selbst kalte Temperaturen bis -20° C oder Sommertage mit über 35° C hatten das System in keinerlei Hinsicht beeinflusst.

Derzeit werden viele Ressourcen in die Verbesserung der PC Software und der Weiterentwicklung des Analysealgorithmus investiert, um viele Auswertungsstudien zu standardisieren und u.a. geeignete Datenformate und Schnittstellen für eine reibungslose

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Markteinführung des Systems zu gewährleisten. Es ist unumgänglich, dass vor Inbetriebnahme des Warnsystems, eine Art Testphase absolviert werden muss, um die geeigneten Schwellenwerte für die Alarmierung in Relation zum Naturgefahrenprozess, dem Beobachtungsgebiet, sowie dem jeweiligen Schutzbedürfnis der jeweiligen Auftraggeber, zu definieren. So soll sichergestellt werden, dass die Anzahl der Fehlalarme minimiert wird und dennoch bereits kleinere, jedoch potentiell gefährliche Prozesse detektiert werden und eine entsprechende Alarmierung erfolgen kann.

Wie die Aufzeichnung der Prozesse an sich gut funktionierte, so hat auch die Datenverarbeitung und die Weitergabe der vom Radargerät gemessenen Daten reibungslos funktioniert. Die Adaptierung der PC Software wurde per Funk von Grambach (Graz) aus erledigt. Die standardmäßig angebrachte digitale Kamera lieferte hochaufgelöste Bilder und lässt sich über das Internet ansteuern. Während der Testphase wurden die Alarmsignale an die Projektpartner per Funk übermittelt. Die Datenpakete konnten auch vor Ort via LAN ausgelesen werden, womit die Funktionalität der Datenverarbeitung- und Weitergabe zu Genüge bewiesen sei.

8 ANHANG

8.1 Lastenheft / Pflichtenheft für die automatische Detektion von Naturgefahren

Version 1.0 (Oktober 2012)

1. Zielbestimmungen

Automatische Erfassung alpiner Massenbewegungen stellt ein modernes und zukunftsfähiges Konzept im Umgang mit Naturgefahren dar. Naturgefahren sollen zuverlässig detektiert, sowie die gemessenen Informationen an entsprechende Schnittstellen im Alarmierungsplan weitergeleitet werden. Förderbare Projekte sollen als Frühwarnsysteme in das Naturgefahrenmanagement der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) implementiert werden.

Das vorliegende Lastenheft / Pflichtenheft wurde von der Arbeitsgemeinschaft des Instituts für Alpine Naturgefahren und der H&S Hochfrequenztechnik GmbH im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF 2011) erstellt. Dieses Dokument stellt die Basis des Projektes „Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik“ dar.

1.1. Musskriterien

- Zuverlässige Detektion von Naturgefahren (Minimierung von Fehlalarmen)
- Eigenständiges System (selbstständiger Systemtest und Fehlerbehebung)
- Ausgereifter Analysealgorithmus (wiss. fundierte Untersuchungen als Basis)
- Hohe Datenverfügbarkeit (Datenverarbeitung und Datenweitergabe)
- Hohe Vernetzbarkeit und Verwendung standardisierte Datenformate (im Idealfall gemäß bereits verfügbarer Normen und Vorschriften)
- Implementation des Produktes in Fernwirkanlage des Auftraggebers (Dateneinspeisung via LAN)
- Automatisierte Auswertung der Messdaten (Auswertungssoftware für Messtechnik)
- Alarmaussendung bei Überschreitung eines vorab eingestellten Schwellenwertes (Funk / UMTS)
 - Alarmierungsweg: Schwellenwertüberschreitung- Betriebsführungszentrale-zuständiger Fahrdienstleiter- Lokführer

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

- Ableitung geeigneter Sofortmaßnahmen anhand ausgewerteter Messdaten
- Redundante Informationsweitergabe
- Implementierung der analysierten Messdaten in das Sicherheitskonzept des Auftraggebers

1.2. Wunschkriterien

- Insulares System (insb. bzgl. Energieversorgung und Datenübertragung)
- Permanente und temporäre Variante des Produktes
- Frei Erweiterbar und Konfigurierbar (spezifische Anforderungen seitens Auftraggeber)
 - Intensitätsauflösung für Steinschlagprozesse – Durchmesser von 0,3 m
Volumen von 0,25 m³
 - Intensitätsauflösung für fluviatile Prozesse – individuell festzulegen
 - Intensitätsauflösung für Schneelawinen – individuell festzulegen
- Hohe Vorwarnzeiten für betriebliche Maßnahmen (V-Reduktion, Aufklärungsfahrt, Streckensperre)
 - Bis zu 5 Minuten Vorwarnzeit
 - Enorm hohe zeitliche Auflösung der Messdaten
 - Hohe Auflösung zur Erfassung der Wahrnehmungsschwelle des Gefahrenprozesses
- Hohe Flexibilität im Warnungsablauf (Arten von Warnungen)
- Benutzerfreundlichkeit der Auswertungssoftware
- Standardisierter rascher Aufbau (permanente Variante innerhalb von 24 h, temporäre Variante innerhalb von 2 h)
- Kostengünstig (im Vgl. zu technischen Schutzmaßnahmen)
- Schutz vor Diebstahl und/oder Vandalismus
- Umweltfest (Angriff von Sekundärprozessen)

1.3. Abgrenzungskriterien

Nicht Ziel: Naturgefahren zu verhindern

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

2. Produkteinsatz

Das geplante Forschungsprojekt präsentiert einen neuen Ansatz im Bereich von Frühwarnsystemen alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik, welche es ermöglicht zuverlässig und mit genügender Vorwarnzeit vor Naturgefahren zu warnen. Es werden eigens entwickelte Hard- und Softwarekomponenten herangezogen, um neben einer beeindruckenden Detektionsrate, auch Informationen zur Disposition, anhand Niederschlagsdetektion und Messung von Pegelständen, von Naturgefahrenprozessen zu gewinnen.

2.1. Anwendungsbereich

Verkehrsinfrastrukturen jeglicher Art in von Naturgefahren gefährdeten Bereichen

2.2. Zielgruppe

- Skigebiete (Verifikation von künstlichen Lawinenauslösungen, ...)
- Katastrophenschutzbehörden
- Betreiber weiterer Verkehrsinfrastruktur (Straßen, Schienen, Wasserwege)
- Unternehmen mit Anforderungen an Überwachungssystemen (Kraftwerke, Minen, Staudämme, ...)

3. Produktübersicht

Im Kern handelt sich bei dem Naturgefahren-Radar der Fa. H&S Hochfrequenztechnik GmbH, um ein gepulstes Doppler-Radar mit digitaler Pulskompression. In einem direkten digitalen Syntheseverfahren wird das bereits digitale modulierte ZF Signal mit einer Frequenz von 260 MHz generiert. Danach folgt eine Bandbegrenzung von 20 MHz. Nach zweifacher Mischung auf die endgültige Sendefrequenz im Bereich von 10.1 GHz - 10.5 GHz wird das Signal auf maximal + 28 dBm verstärkt (Dies erfolgt mit einem MMIC Verstärker-Chip AMMP 6408 der Fa. Avago Technologies). Das Ausgangssignal wird über einen Zirkulator zur Antenne geleitet. Das Empfangssignal (Echo) wird über den gleichen Zirkulator und eine Limiter-Pin Diode zum LNA geführt, das Empfangssignal wird verstärkt und durch zweifache Mischung auf eine endgültige ZF von 260 MHz gebracht wonach es in einem 14 Bit A/D Wandler mit 95 MHz abgetastet wird. Zentrale

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Steuereinheit dieser Vorgänge ist eine proprietäre FPGA Lösung auf XILINX Basis, welche alle digitalen Modulatoren und Demulatoren enthält.

Weiters ist am FPGA ein "low power" DSP System zur FFT Berechnung und ein 400 MHz ARM9 System zur Datenkommunikation angebunden. Verfügbare Schnittstellen sind: 2 x RS232, 1 x Ethernet 100 Mbit, 2 x USB Host Full Speed, 1 x USB Device Full Speed und zwei serielle bidirektionale synchrone LVDS.

Es sind in der Radareinheit folgende Modulationsarten möglich:

- a) Einfache Pulsmodulation: Hier wird im Takt der Pulswiederholfrequenz ein Puls mit einer einstellbaren Breite (105 ns - 30 μ s) wiederholt gesendet.
- b) Pulskompression: Hier wird ebenfalls ein Puls mit einer einstellbaren Pulswiederholfrequenz gesendet, jedoch wird dieser in mehrere gleich große BPSK modulierten Teile zerlegt. Dieser Puls ist Länger und die maximale BPSK Modulationsfrequenz beträgt 1/105 ns. Es wird das Barker-Code Modulationsschema benutzt, welches bis Längen von 13 Modulationsbits eine minimale Autokorrelationsfunktion bietet. Dieses Verfahren wird benutzt um bei gleicher Sendeleitung größere Reichweiten zu erzielen als Punkt a)
- c) Korrelationsverfahren: (H&S proprietär) Hier wird ebenfalls ein Puls mit einer einstellbaren Pulswiederholfrequenz gesendet, dieser jedoch in mehrere gleich große QPSK modulierten Teile zerlegt. Dieser Puls ist Länger als in b) und die maximale QPSK Modulationsfrequenz beträgt 1/105 ns. Es wird ein Pseudo-Zufalls Modulationsschema benutzt welches bis beliebige Längen und entsprechend lange Integrationszeiten im Basisband eine gute Autokorrelationsfunktion bietet. Es sind bei gleicher Sendeleitung wie in a) größere Reichweiten als in b) möglich, jedoch bei relativ langen Totzeiten und geringen Dopplergeschwindigkeiten.

Da Modulation gemäß dem Korrelationsverfahren die Vorteile beider vorangegangenen Methoden vereint, operiert das Naturgefahren-Radargerät standardmäßig mit dieser Variante der Modulation. In Tabelle 1 sind die technischen Daten der Radareinheit zusammengefasst. Im Naturgefahren-Radar ist nun diese Einheit mit entsprechender Antenne, Energieversorgung, Betriebscomputer und Kommunikationseinheit in einem wetterfesten Gehäuse verbaut. Der Aufbau ist derart modular möglich, dass jegliche zusätzliche Messsensoren integriert werden können. Das Gesamtsystem hat eine Leistungsaufnahme zwischen 30-50 Watt (je nach zusätzlich integrierte Messsensoren).

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Mit dem Naturgefahren-Radar ist es nun möglich bewegte Objekte (auch Murgänge, Schneelawinen, ...) mit ca. 1m² Fläche in einer Entfernung von 2 km und Geschwindigkeiten zwischen 1 und 300 km/h bei einem Antennenöffnungswinkel von 5° zuverlässig zu detektieren. Hierfür verwendet das System ein Range Gate Prinzip für die Gewinnung und Auswertung der Messdaten. Einzelne Range Gates lassen sich so z.B. für die Alarmierung aus den Analysen ausschließen, sofern diese die Quelle für etwaige Fehlalarme darstellen würden. Die Auswertesoftware ist derzeit für die automatische Detektion von Lawinenabgängen fertiggestellt, erfolgreich getestet und wird gerade für fluviale Gefahrenprozesse angepasst. Wie die bis jetzt erhaltenen Daten zeigen, kann das Radar aber nicht nur bei Großereignissen zur Alarmauslösung zuverlässig eingesetzt werden, sondern es kann eine sinnvolle Ergänzung zur Wetterdatenerfassung und Pegelstandmessung darstellen. Für diesen Zweck muss aber die Software weiterentwickelt werden. Dann wäre ein Radargerät denkbar, welches die Funktionen eines Niederschlagsradar, eines Pegelmesssystem und ein Warnsystem für Muren in einem Gerät vereint.

Die Warnungsausgabe erfolgt als SMS (Short Message Service) und als Email. Weitere Datenformate können über die gleiche Art und Weise übertragen werden. So können die gewonnen Informationen der Radaranlage (Rohdaten und/oder Auswertungsergebnisse) z.B. als ASCII File gespeichert und versendet werden.

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

Parameter	Wert	Toleranz	Einheit
Betriebsspannung	+5	+/- 5 %	Volt
Stromaufnahme	3	max	Ampere
Temperaturbereich	-40 - +85	min/max	°C
Luftfeuchtigkeit	0 - 100 %	min max	Rel. Hum.
Frequenzbereich	10.1 - 10.5	min/max	GHz
Frequenzauflösung	5		MHz
DDS-Auflösung	0.15		mHz
Frequenzdrift	+/-	30	ppm
Ausgangsleistung (Zirkulator)	+25	+/- 1	dBm
Nebenaussendungen (SFDR)	-80		dBc
Nebenaussendungen 0-9 GHz	< -100		dBm
Nebenaussendungen 11-26 GHz	< -90		dBm
Modulation	Puls, PSK		
Pulsbreiten	0.105 - 30		us
Pulsbreite Auflösung	105.263		ns
Pulskompression	Barker 3- 13 BPSK		
Modulation Korrelationsmodus	Puls 50% duty cylce QPSK		
Bandbreite (alle Betriebsarten)	25	max	MHz
Rauschzahl (am Zirkulator)	3.5	typ	dB
Compliance	CE, ROHS		
Pulswiederholfrequenz	0.001 - 1		MHz
Schnittstellen	USB, RS232, Ethernet		
Rangegates	1-128		
Rangegate Auflösung	1024 FFT		Linien

Tabelle 1: Technische Daten der HS-Hochfrequenztechnik Radareinheit (Quelle: H&S Hochfrequenztechnik 2012)

IAN Report 149 Band 1 Machbarkeitsstudie

LITERATURVERZEICHNIS

Hübl, J., Ganahl, E., Gruber, H., Holub, M., Holzinger, G., Moser, M., Pichler, A (2004): Risikomanagement Lattenbach: Risikoanalyse, IAN Report 95 Band 1, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur-Wien (unveröffentlicht).

Kogelnig, A., Wyssen, S., Pichler, J (2012): Artificial release and detection of avalanches: Managing Risk on traffic infrastuctures, a case study of Austria, Congress contribution ISSW 2012.

Rachoy, C (2012): Naturgefahrenmanagement: Warnsysteme-Ablauf, Integriertes Streckenmanagement, Integration Technik Center Anlagen, Fachbereich Naturgefahrenmanagement.

Rudolf-Miklau, R (2009): Naturgefahren-Management in Österreich – Vorsorge-Bewältigung-Information, LexisNexis, Wien.

Wolff, C. (s.a.): Radartutorial.eu, Ingenieurbüro Christian Wolff, at: www.radartutorial.eu (16.05.2012).