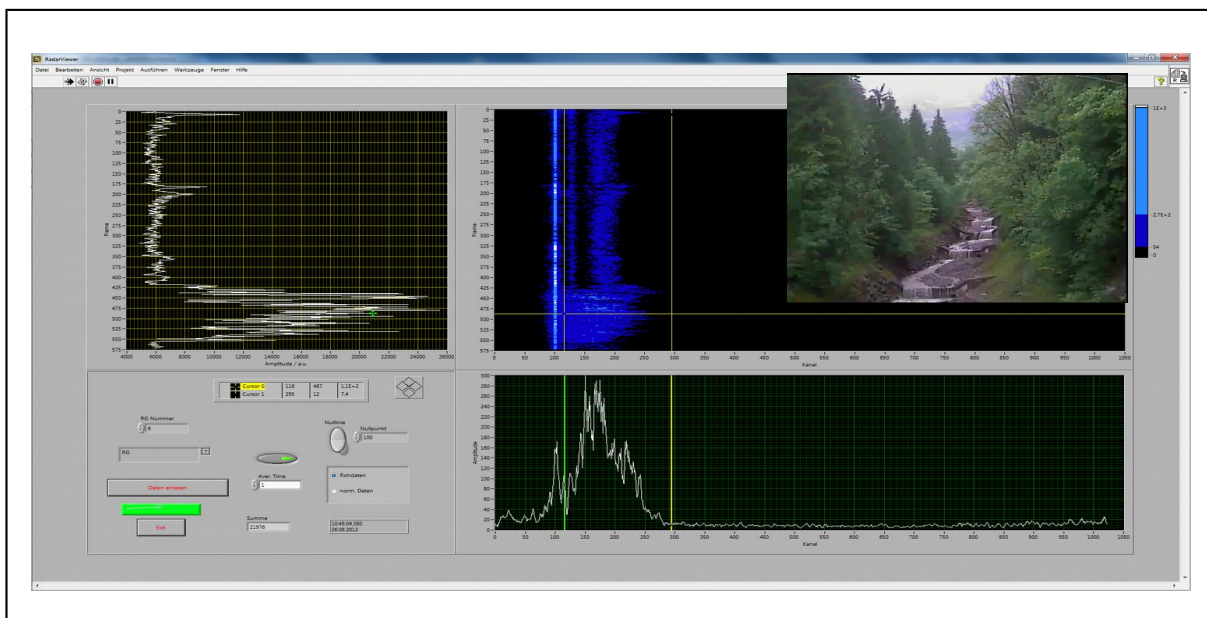


Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik

Naturgefahren-Radar

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

Dezember 2014



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Renngasse 5
A - 1010 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A - 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Institut für Alpine Naturgefahren
Universität für Bodenkultur
Peter Jordan Str. 82
A – 1190 Wien



H&S Hochfrequenztechnik GmbH
Technologiepark Grambach
Parking 2
A – 8074 Grambach



Programmmanagemen:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik

Naturgefahren-Radar

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2011)

Abschlussbericht

AutorInnen:

Univ. Prof. DI. Dr. nat. techn. Johannes HÜBL

DI Josef Pichler

DI Philipp Jocham

DI Dr. techn. Richard Koschuch

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

Universität für Bodenkultur

Department für Bautechnik und Naturgefahren

Institut für Alpine Naturgefahren

ÖBB Lattenbach

Inhaltsverzeichnis

Anlagen-Spezifikation (Leistungsverzeichnis).....	5
1. Auftraggeberseitige Spezifikationen/Wünsche.....	5
2. Grundlegendes Anlagendesign bei Warnsystemen für Alpine Naturgefahren.....	5
3. Spezifikation der Detektionseigenschaften.....	14
4. Umsetzung der Anforderungen in ein Messkonzept.....	14
5. Allgemeine Anlagenspezifikationen.....	20
a. Mechanische Architektur.....	20
b. Elektrische Architektur.....	22
c. Funktionstests.....	24
d. Instandhaltung/Service.....	25
Anlagen-Installationsbericht.....	26
1. Baustelleneinrichtung.....	26
2. Aufbau Anlagenkomponenten.....	26
3. Herstellung Datenverbindung.....	28
4. Funktions/Kalibrierungstests.....	28
5. Zeitablauf.....	28
Ergebnisse aus der Versuchsanlage.....	28
1. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	28
2. Veröffentlichungen.....	32
3. Schlussfolgerungen.....	33
Appendix.....	34
1. Software.....	34
a. Software-Architektur.....	34
b. Datenerfassung.....	34
c. Datenanalyse.....	34
d. Alarmierung.....	36
2. Beschreibung User-Interface.....	36
a. Alarmierung.....	36
b. Rohdaten.....	36
3. Konfiguration User-Interface.....	36
4. Protokoll/Datendateien.....	36

Anlagen-Spezifikation (Leistungsverzeichnis)

1. Auftraggeberseitige Spezifikationen/Wünsche

Laut Ausschreibung „Verkehrsinfrastrukturforschung - VIF 2011“ wurde folgendes gefordert (Quelle: Präsentationen Auftaktveranstaltung „VIF 2011“ 4. November 2011):

- Detektion von Naturgefahren um eine ausreichende Vorwarnzeit für die zeitgerechte „Entstörung“ von Lawinen, Muren, Steinschlag, Rutschung usw. zu erreichen.

Mit folgenden Attributen:

- Kapselung: Eigenständiges, insulares System (insb. bzgl. Energieversorgung und Datenübertragung) bei oftmals schwieriger Anbindung und Energieversorgung
- Sicherheit: Überaus hohe Datenverfügbarkeit, selbständige Fehlermeldung/suche sowie redundante Informationsweitergabe.
- Vernetzbarkeit: Schnittstellen zu Verkehrssteuerungssystemen der Infrastrukturbetreiber. Ausgespezifizierte Datenschnittstelle (im Idealfall gemäß bereits verfügbarer Normen und Vorschriften)
- Alternativ fix montiert oder mobil (z.B. Anhänger)
- rasch zu installieren (in einem zu nennenden Radius betriebsbereit in 2 Stunden) jedoch gegen Diebstahl und Vandalismus geschützt
- Frei konfigurierbar, Fernwartung möglich
- Kostengünstig
- Umweltfest

Auftraggeber: ÖBB gemeinsam mit dem BMVIT

2. Grundlegendes Anlagendesign bei Warnsystemen für Alpine Naturgefahren

Der Begriff Naturgefahren umfasst alle natürlichen Kräfte, die als potentiell gefährlich für Menschen und deren Umfeld eingestuft werden können. In diesem Kontext wird der Ausdruck Naturgefahr als talabwärts gerichtete Massenbewegung von Wasser, Schnee, Eis, Schutt und Stein unter dem Einfluss der Gravitationskraft verstanden. Naturgefahren wie zum Beispiel Schneelawinen, Steinschlag, Murgänge und ähnliche fluviale bzw. geologische Prozesse im alpinen Raum, sind verantwortlich für jährlich wiederkehrende Katastrophen und stellen ein großes

Risiko für dauerhafte Siedlungen, wirtschaftliche und touristische Infrastruktur sowie Verkehrswege dar. Aus ethisch-moralischen und wirtschaftlichen Gründen wird seitens des individuellen Sicherheitsbedürfnisses der Menschen ein gewisses Mindestniveau an Sicherheit zu schaffen und zu erhalten. Zumindest soll das von Naturgefahren ausgehende Risiko auf ein Minimum reduziert werden. In vielen alpinen Ländern mit höherer Besiedlungsdichte und/oder wirtschaftlich wichtiger Infrastruktur werden die Bewohner und deren Eigentum durch aktive Schutzmaßnahmen (z.B.: Wildbachschutzbauwerke, Steinschlagnetze, ...) und/oder durch passive Schutzmaßnahmen (z.B.: Gefahrenzonenplanung, Evakuierungspläne, Streckensperre für Verkehrswege, ...) geschützt. Man unterscheidet aktive Schutzmaßnahmen durch den direkten Eingriff in den Naturgefahrenprozess mit dem Ziel der positiven Beeinflussung, während passive Schutzmaßnahmen nicht direkt den Prozess, jedoch dessen Auswirkung (Reduzierung des Risikos) positiv bestärken (Kienholz 2003). Die Palette an Schutzmaßnahmen lässt sich weiter in permanente und temporäre Ausführungen unterteilen. So zählt die künstliche Auslösung von Schneelawinen zu den temporär-aktiven Maßnahmen, während die vorsorgliche Sperre eines Verkehrsweges bzw. die Forderung einer Geschwindigkeitsreduzierung oder die Evakuierung einer Siedlung zu den temporär-passiven Schutzmaßnahmen gehören. Beide Varianten (aktiv und passiv) von Schutzmaßnahmen liegt eine integrale Gefahrenanalyse zu Grunde.

Passive Schutzvarianten verlangen zudem den Einsatz von zuverlässigen und hochentwickelten Warn- und Monitoring Anlagen als entsprechende Entscheidungsgrundlage für weiterführende Sofortmaßnahmen. Passive Schutzmaßnahmen kommen vor allem in jenen Situationen zum Einsatz, in denen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und/oder der Topografie des zu schützenden Bereiches die Errichtung einer aktiven Sicherung (z.B.: Retentionsbecken, ...) nicht möglich und/oder nicht effizient genug erscheint.

Die Österreichischen Bundesbahnen (kurz ÖBB) untersuchen gemeinsam mit dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (kurz BMVIT) als Auftraggeber im Rahmen der Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF 2011) das Potential geeigneter Warnsysteme im Naturgefahrenbereich zur temporären Sicherung gefährdeter Bahnstrecken, sofern eine aktive Sicherungsvariante unmöglich erscheint.

Der Einsatz von standardisierten Warn- und Monitoring Systemen im Bereich des Naturgefahrenmanagements befindet sich noch im 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 Einrichtungen, die dazu geeignet sind Naturgefahrenprozesse rechtzeitig zu detektieren und bei Überschreiten eines voreingestellten Schwellenwertes automatisch eine Warnung aussenden, um das Risiko Schaden aus einem Naturgefahrenprozess zu erleiden auf ein Minimum zu reduzieren. Monitoring Anlagen erfassen systematisch alle Prozessaktivitäten mittels technischer Beobachtungssysteme

(Messsensoren) und haben die Funktion bei einem beobachteten Prozess rechtzeitig über diesen zu informieren, um geeignete Vorkehrungen treffen zu können, sofern der Naturgefahrenprozess nicht den gewünschten Verlauf nimmt, oder bestimmte Schwellenwerte unter- bzw. überschritten werden (Rufolf-Miklau 2009).

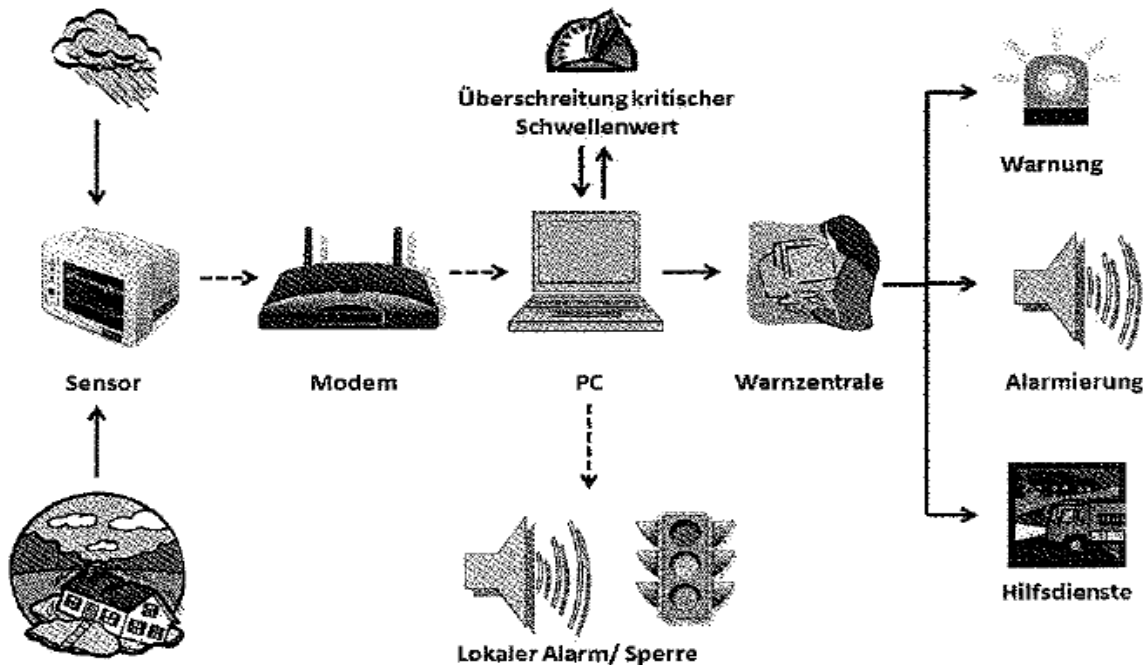


Abbildung 1: Bestandteile eines Warnsystems (Quelle: Rudolf-Miklau 2009)

Wie in Abbildung 1 illustriert, besteht ein Warnsystem aus mehreren Systemkomponenten, welche sich nach Klaus et al. (1999) in die Bereiche Naturwissenschaft, Technik und Katastrophenmanagement unterteilen lassen. An die jeweiligen Bereiche werden grundsätzliche Anforderungen gestellt, die erfüllt werden müssen, um die Funktionalität und die Zuverlässigkeit des Warnsystem Konzeptes zu gewährleisten. Eine Auflistung der entsprechenden Mindestanforderungen findet sich in Tabelle 1 wieder.

Das Risiko ausgehend von Naturgefahren für Lebens- und Siedlungsraum, Verkehrswege und Kulturgüter entspricht der Möglichkeit, dass ein Schaden aufgrund der Wahrscheinlichkeit der Prozessentstehung an sich und des Ausmaßes (Prozessintensität) auftritt (Bergmeister et al. 2009). Die Prozessintensität beschreibt die Stärke der Wirkung eines Naturgefahrenprozesses. Diese kann unterschieden werden in die physikalische Prozessstärke (z.B.: Geschwindigkeit, Fließtiefe, Druckwirkung, ...) einerseits und andererseits in die Schadensintensität (z.B.: Personenschäden, Schadensausmaß, ...) (Takahashi 2007). Zuverlässige Warn- und Monitoring Systeme messen die Prozessintensität in einer zeitlich hohen Auflösung, bis hin zur Echtzeitmessung.

Tabelle 1: Anforderungen an Systemkomponenten einer Warnanlage (Quelle: Klaus et al. 1999, geändert)

Anforderungen an Systemkomponenten einer Warnanlage		
Naturwissenschaft	Technik	Katastrophenmanagement
Studie über mögliche Naturgefahrenprozesse (integrale Gefahrenanalyse)	Aufzeichnung von Auslösefaktoren (Weterradar, ...)	Zentrale Überwachung eingehender Daten
Definition von Messparametern	Aufzeichnung von Ereignisfaktoren (Prozessintensität, Geschwindigkeit, ...)	Bewertung der aktuellen Situation anhand der vorhandenen Daten
Definition von ereignisbezogenen Schwellenwerten	Datenaufbereitung und Datenweitergabe	Koordinierung/Ausführung weiterführender Sofortmaßnahmen

Da die einzelnen Naturgefahren eine Vielzahl an speziellen und unterschiedlichen Prozessmerkmalen (z.B.: Durchfluss, Fließhöhe, ...) aufweisen und es ebenso eine große Anzahl an verfügbaren Messsensoren gibt, ist exzellentes Grundverständnis im Naturgefahrenbereich sowie in der Messtechnik unumgänglich, um eine funktionierende und zuverlässige Warn- und Monitoring Anlage zu konzipieren. Eine übersichtliche Auflistung welche Messsensoren derzeit verfügbar sind und für welchen Einsatzbereich diese zur Verfügung stehen, findet sich in Monitor (2008). Neben staatlichen Warn- und Alarmsystemen (z.B.: Lawinenwarnung, Unwetterwarnung, ...) stellen vor allem lokale Warnsysteme für Naturgefahren, betrieben durch die jeweils zuständigen Fachdienste, eine komplexe Herausforderung für die technischen- wie auch die sozialen Systemkomponenten (z.B.: Informationsweitergabe bei Alarmaussendung, ...) dar.

Neben der Definierung des jeweilig dominanten Prozessmerkmals als Schwellenwert und die Bestimmung der Größe dieses Wertes für die Alarmaussendung, bedarf es einer gründlichen Studie des beobachteten Gebietes in Relation zum Naturereignis, zur Bestimmung der bestmöglichen Messposition. Prinzipiell lassen sich Naturgefahrenprozesse in mindestens drei unterschiedliche Sektionen unterteilen. Abbildung 2 zeigt diese Differenzierung anhand eines lawinengefährdeten Hanges („Grosstal-Lawine“) in Ischgl/Tirol.



Abbildung 2: Prozessbereiche eines Lawinenpfades (Quelle: Institut für Alpine Naturgefahren 2012)

Somit stehen auch für die Messungen bzw. die Detektion von Naturereignissen an sich und/oder bestimmter einzelner Prozessmerkmale, die Möglichkeit von Messungen im Entstehungsbereich, der Transitzone und dem Ablagerungsbereich zur Verfügung. Diese Unterteilung kann auch für andere Naturgefahren, z.B.: für Steinschlag und Murgänge, herangezogen werden. Die unterschiedlichen Bereiche sind charakteristisch für die verschiedenen Prozesse. So gelten als „typische“ Entstehungszonen von Lawinen (auch Anbruchgebiete, Anrissgebiete und Anbruchzone genannt) Hangpartien mit einer Neigung zwischen 28° und 55° , aus welchem abhängig von Morphologie, Exposition, Vegetation und Rauigkeit Lawinen abgehen können (ONR 24805 2010, McClung and Schaerer 2006). Im Bereich der Wildbachforschung wird die Entstehungszone als Sammelgebiet bezeichnet. Das Sammelgebiet stellt jenes hydrographische Einzugsgebiet dar, welches entsprechend den oberirdischen Wasserscheiden als orografisches oder entsprechend den natürlichen Verhältnissen von oberirdischen und unterirdischen Zu- und Ableitungen entspricht. Zwischen Entstehungsbereich und Ablagerungsbereich findet sich die Transitzone (Transport- und/oder Umlagerungsstrecken) wieder (Bergmeister et al. 2009, Blair 2011, Rickenmann and Scheidl 2011, Hungr 2005). Entsprechend den jeweiligen Bereichen lassen sich unterschiedliche Prozessmerkmale lokalisieren und sind mit passenden Messsensoren in ausreichender zeitlicher- und räumlicher Auflösung zu erfassen. In Tabelle 2 wird ein kurzer

Überblick über messbare Prozessspezifika wiedergegeben.

Tabelle 2: Prozessbereiche und spezifische Messparameter (Quelle: Kienholz 2003)

	Different scenarios of threat		
	Basic disposition	Variable disposition	Triggering event
Starting zone (upper catchment)	Subsoil relief water vegetation climate	Water saturation state of vegetation cover weather conditions	Kind of disturbance earthquake weather man
Transition zone (channel and its slopes)	Subsoil relief trajectories transportation capacity vegetation cover	State of soil and subsoil state of trajectories (for example clogging situation)	Disturbance (for exam- ple clogging situation)
Deposition zone (runout zone) (debris fan)	Subsoil relief trajectories deposition capacity vegetation cover obstacles	State of soil and subsoil state of trajectories	

Die Auswahl der Position für die Messsensoren eines Warn- und Monitoring Systems, im speziellen für kurzfristige und dadurch ebenfalls in Echtzeit durchgeführte Warnungen bei Naturgefahren, spielt eine entscheidende Rolle und muss entsprechend der gegebenen Prozessvariabilität einerseits und dem Schutzbedürfnis der betroffenen Akteure andererseits 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 (Abbildung 3 a). Ähnlich verhält es sich auch in Bezug auf die verschiedenen Phasen eines Naturgefahrenprozesses beginnend mit der Disposition, dem auslösenden Ereignis und dem eintretenden Ereignis (Zimmermann et al. 1997) (Abbildung 3 b).

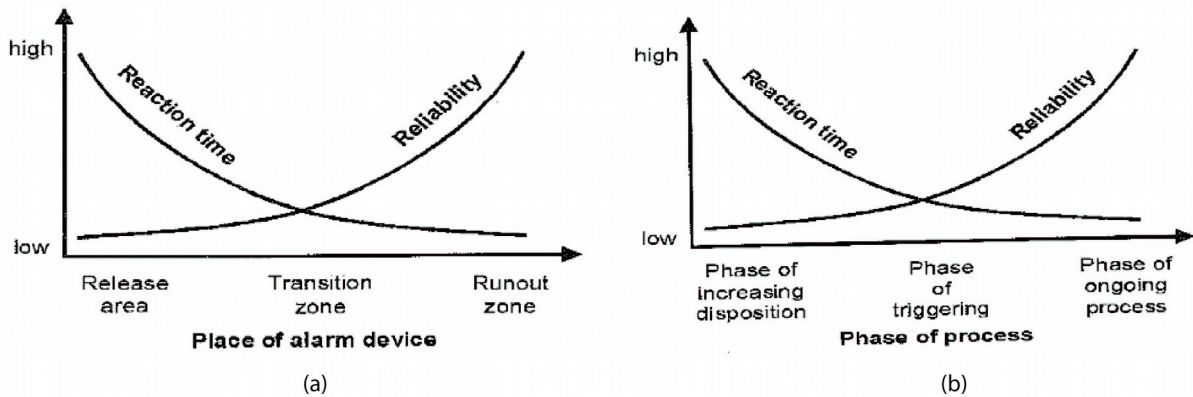


Abbildung 3: Zuverlässigkeit und Reaktionszeit von Warnsystemen in Abhängigkeit von (a) der Position des Alarms und (b) von der Messung in den Prozessphasen (Quelle: Kienholz 2003)

Neben der Auswahl einer geeigneten Position der Messtechnik, ist ein flexibles und zuverlässiges Datenverarbeitung-System für ein funktionsfähiges Warnsystem unumgänglich. In Abbildung 4 wird eine Darstellung möglicher Kommunikationsebenen mit dem dazugehörigen internen Datenfluss innerhalb eines Warnsystems präsentiert

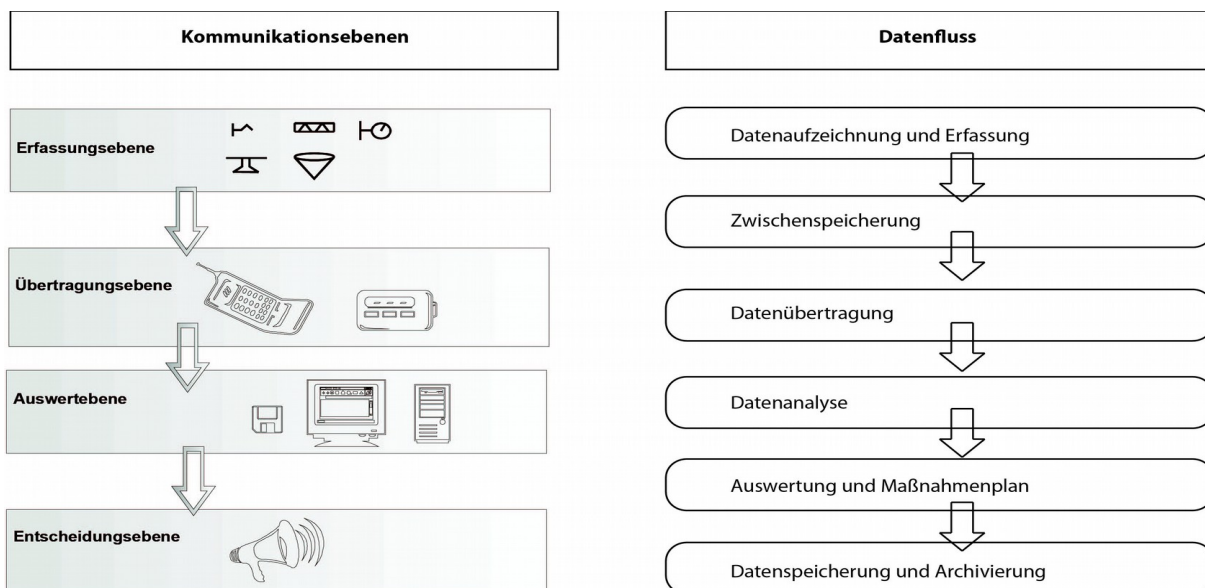


Abbildung 4: Kommunikationsebenen und Datenfluss für Warnsysteme (Quelle: Klaus et al. 1999, geändert)

Im Folgenden wird näher auf die Entscheidungsebene und auf den Alarm- und Maßnahmenplan (siehe Abbildung 4 Kommunikationsebenen und Datenfluss für Warnsysteme) eingegangen. Für die Warnauslösung können mehrere Warnstufen unterschieden werden. So definiert Schmidt (2002) drei Warnstufen beginnend über eine Vorwarnung, einer Warnung und einer Alarmierung. Die Entscheidungsebene ist eng verknüpft mit der Auswertebene und sollte im Idealfall

automatisch ablaufen, da für eine mechanische Entscheidung 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 und interpretiert. In ihr wird entschieden, ob es zu einer Alarmierung kommt oder nicht. Es 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 5).

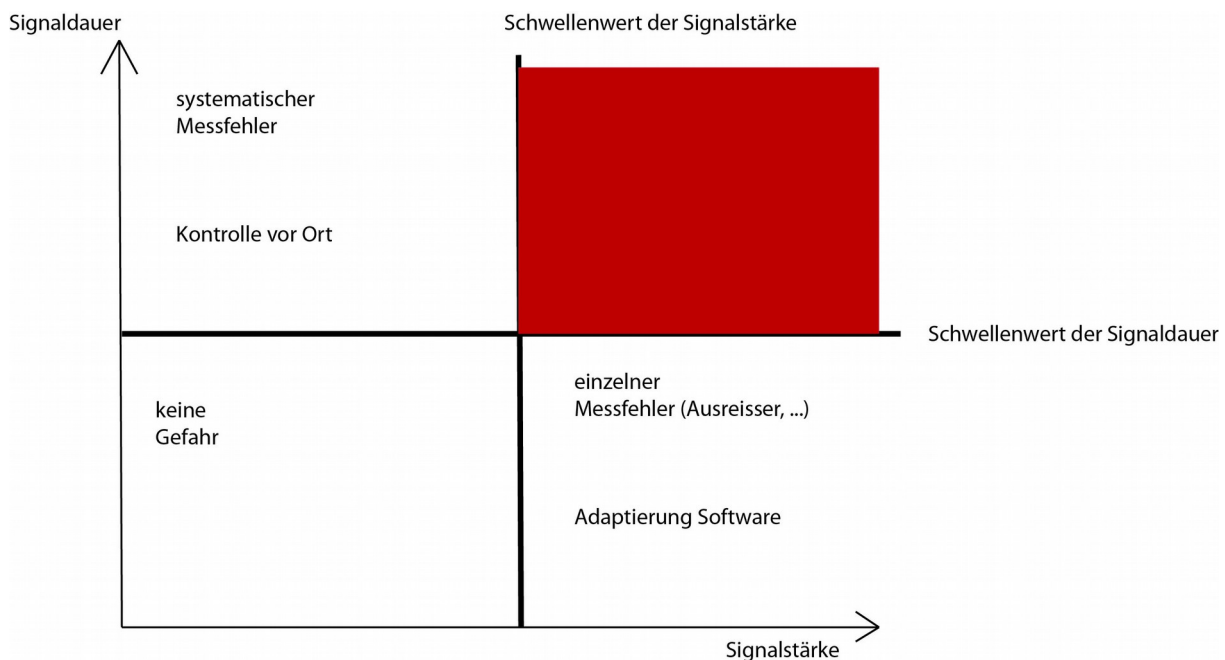


Abbildung 5: Darstellung zur Schwellenwertfestlegung (Quelle: Schmidt 2002)

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 Entscheidungsträger und/oder Institutionen und 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 ÖBB aussehen, wird im folgenden Abschnitt wiedergegeben.

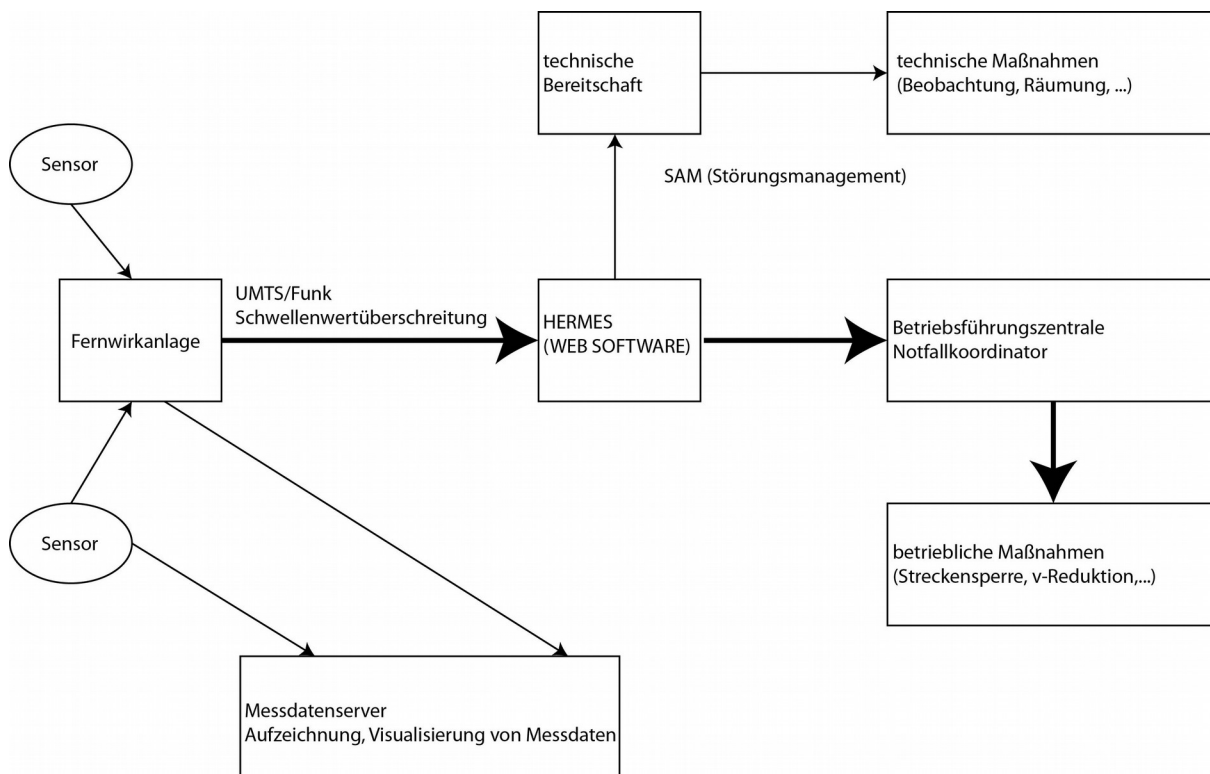


Abbildung 6: Ablauf einer Alarmierung innerhalb des ÖBB-Naturgefahrenmanagements (Quelle: Rachoy 2012, geändert)

In der Abbildung 6 wird der allgemeine Ablauf einer Warnung des Naturgefahrenmanagements 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 erfolgt über eine von der ÖBB betriebene Fernwirkanlage. Über diese Anlage werden die Daten 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. Demnach wird das Störungsmanagement (kurz SAM) mit Informationen über die variable Disposition anhand der Niederschlagsauswertung (Wetterradar) und über Informationen des aktuellen Pegelstands/Durchfluss in seiner Tätigkeit unterstützt. SAM wird somit eine Art Vorwarnung zugesandt, anhand welcher über technische Maßnahmen (z.B.: Beobachtung vor Ort, Räumung,

...) 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 Geschwindigkeitsreduzierung, Streckenabschnittssperren und dergleichen. Eine Adaption/Weiterentwicklung dieser Maßnahmen in Zusammenhang mit der Warnung des Radargerätes ist durchaus realisierbar.

3. Spezifikation der Detektionseigenschaften

Wie auch im Kapitel 2 dargestellt, muss die Erkennung einer Gefahr und die Alarmierung so früh wie möglich (nahezu in Echtzeit) erfolgen, um eine maximale Vorwarnzeit zu gewährleisten. Dazu muss die Gefahr bereits an ihrem Entstehungsort detektiert und beurteilt werden und eine Alarmauslösung unverzüglich erfolgen.

Im Fall von Muren, Hochwasser, Lawinen oder Steinschlag handelt es sich immer um Massenbewegung welche mit Geschwindigkeiten von 1 m/s bis zu 100 m/s erfolgen. Ein geeignetes Detektionssystem muss also die Geschwindigkeiten dieser Massenbewegungen entlang der Bewegungsbahn detektieren können und auch eine Abschätzung der bewegten Masse bzw. des bewegten Volumens zulassen können, damit auch das Gefahrenpotential abschätzbar ist. In Tabelle 2 sind diese Spezifikationen zusammengefasst.

Tabelle 3: Spezifikation der Detektionseigenschaften

Eigenschaft:	Meßbereich:
Geschwindigkeiten	1 m/s -100 m/s
Entfernungen	20 m – 2000 m
Massenbewegung / Volumen	1 m ³ in 2000 m Entfernung; 0,25 m ³ in 1000 m
Abflussänderung	> 10 %
Alarmauslösung	< 5 s

4. Umsetzung der Anforderungen in ein Messkonzept

Die die zurzeit verfügbaren Mess- und Frühwarnsysteme, wie z.B. Geophone oder Ultraschall-Sensoren, weisen zum einem in der operativen Ausführung noch diverse Schwächen, wie z.B.

häufige Fehlalarme oder hoher Stromverbrauch, auf. Zum anderen ist aufgrund von extremen Umwelt- und Witterungseinflüssen die Suche nach einem zuverlässigen Positionierungspunkt des Systems mit vielen Kompromissen gespickt. Zudem ist der Großteil der heutzutage eingesetzten Messsensoren in unmittelbarer Nähe des Gefährdungspotentials einzurichten, was die Installation von teuren und wartungsintensiven Messvorrichtungen zufolge hat.

Das hier umgesetzte Forschungsprojekt „Naturgefahren Radar“ des Instituts für Alpine Naturgefahren (IAN) und der H&S Hochfrequenztechnik GmbH verfolgte das Ziel, ein innovatives Mess- und Frühwarnsystem in Form eines Prototyps für alpine Massenbewegungen, wie z.B. Steinschlag, Murgänge und Hangrutschungen, mittels moderner Hochfrequenzradartechnik zu entwickeln. Ziel des Radarsystems ist es, durch kontinuierliche Abtastung potentiell gefährlicher Hang- bzw. Wildbachbereiche mittels neuartiger Radartechnik, bereits kleinste Aktivitäten innerhalb des überwachten Gebietes zuverlässig zu erkennen und durch Ausgabe verschiedenartigster Alarmsignale, wie z.B. Ampelanlagen oder Aussendungen eines Signaltones über eine Sirene, vor der potentiell nahenden Gefahr zu warnen. Die Abtastung der Gefährdungsbereiche, möglich sowohl in der Prozessentstehung als auch im unmittelbaren Einwirkungsbereich, erfolgt über ein neuartiges und von der H&S Hochfrequenztechnik GmbH selbstentwickeltes Radarsystem, welches Aktivitäten auf Entfernungen von bis zu zwei Kilometern exakt und zuverlässig erfassen kann. Außerdem bietet das Radarsystem die Möglichkeit, den untersuchten Bereich in so genannte Entfernungstore zu unterteilen, wodurch sich die Datenauswertung auf einen engeren Raum beschränken lässt und sich somit die Störanfälligkeit reduzieren lässt, was mit konventioneller Radartechnik nicht möglich ist. Werden vorgegebene Schwellenwerte überschritten, wird ein Alarm ausgelöst. Dieser kann vor Ort ausgegeben werden (Warnleuchte, Signalton) und/oder per Mobilfunktechnik (GSM/UMTS/WLAN) an die gewünschten Stellen (Streckendienstleiter, Warnzentrale) weitergeleitet werden.

Ein wesentlicher Vorteil des vorgestellten Radarsystems ist, dass es durch den niedrigen Energieverbrauch mittels Solartechnik mit Strom versorgt werden kann. Durch den niedrigen Energiebedarf kann es in beliebiger Umgebung aufgestellt werden, ohne, dass eine externe Netzversorgung zur Verfügung gestellt werden muss. Das führt zu einer erheblichen Kosteneinsparung und einer hohen Flexibilität bei der Installation des Systems. Da das System nur wenige Kilogramm wiegt, kann es sowohl stationär als auch mobil eingesetzt werden, wodurch sich die Erfassung und spätere Auswertung der Daten aus den Testgebieten ungemein erleichtert. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Radarsystem auch bei akuten Prozessvorgängen, z.B.: künstliche Auslösung von Steinschlag und Lawinenabgängen, positioniert werden kann, um eine möglichst hohe Datenbasis für die Evaluierung des Systems bereitzustellen. Zusätzlich zur Radarwellenauswertung kann über eine installierte Videokamera das vom Radarsystem Gemessene auch optisch überprüft werden. Über die Möglichkeit per WLAN mit dem System zu

kommunizieren, ist eine Fernwartung bei auftretenden Problemen oder Änderungen in der Software möglich.

Die Stärken des vorgestellten Radarsystems lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Modularer und zukunftsfähiger Systemaufbau,
- eigenständiges und zuverlässiges Mess- und Frühwarnsystem alpiner Massenbewegungen (Prozessentstehung und Einwirkungsbereich),
- energieautarke Einsatzmöglichkeiten (Solarstromversorgung),
- breites Einsatzgebiet der Detektion (Steinschlag, Murgang, Hangrutschung, Lawine),
- Reichweite bis zu 1000 m (Öffnungswinkel 10° ohne Verstärker pro Antenne),
- Reichweite bis zu 2000 m (Öffnungswinkel 5° ohne Verstärker pro Antenne),
- hohe Datenvernetzung durch konventionelle Schnittstellen (GSM/UMTS/WLAN),
- geringes Gewicht (mobiler Einsatz) und rasche Installation (Plug&Play),
- sicher vor Umwelt- und Sekundäreinflüssen durch festes Systemgehäuse.

Physikalisches Messprinzip

Grundlage jeglicher Radar-Systeme, dass Änderungen der Ausbreitungseigenschaften im Raum Reflexionen der Welle verursachen. Eine einfachere Form die Reflexion von Objekten quantitativ anzugeben ohne jedoch genaue Angaben über deren Beschaffenheit zu haben, ist der Rückstrahl-Querschnitt σ . Der Rückstrahl-Querschnitt ist eine fiktive Fläche, welche am Ort der Reflexion gedacht jene Strahlungsleistung isotrop (Rundstrahler) zurückstrahlt, welche am Standpunkt der Reflexionsmessung die gleiche Empfangsleistung ergibt wie das wirklich zu messende Objekt. Somit ist der Rückstrahl-Querschnitt eine Ersatzdarstellung des eigentlich reflektierenden Objektes. Da keinerlei Informationen über die Beschaffenheit und Form des reflektierenden Objektes gibt, ist seine Fläche auch von der Messfrequenz, Einfallsrichtung, Polarisation und Objekt-Position und -Rotation abhängig.

Ist das reflektierende Objekt von den Dimensionen groß im Vergleich zur Dimension der Wellenlänge, macht es auch Sinn einen Rückstrahl-Querschnitt pro Flächeneinheit zu definieren. Die beleuchtete Fläche für ein Entfernungsfenster (Range Gate RG) ist nun jene Fläche, welche sich aus dem Schnitt des Antennenkegels mit dem Berghang in Abschnitte der Länge der Impulsdauer τ ergibt. In Abstrahlungsrichtung ist die Länge eines solchen Rangegates also die Impulsdauer multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit c und in der Breite ist die Fläche begrenzt von den Rändern des Antennenkegel (siehe Abbildung 7; Abbildung 8). Ändert sich die

Beschaffenheit der Bestrahlten Fläche (Schneezuwachs, Ablagerungen, Bewuchs), so wird dies auch mit dem Radar detektiert werden.

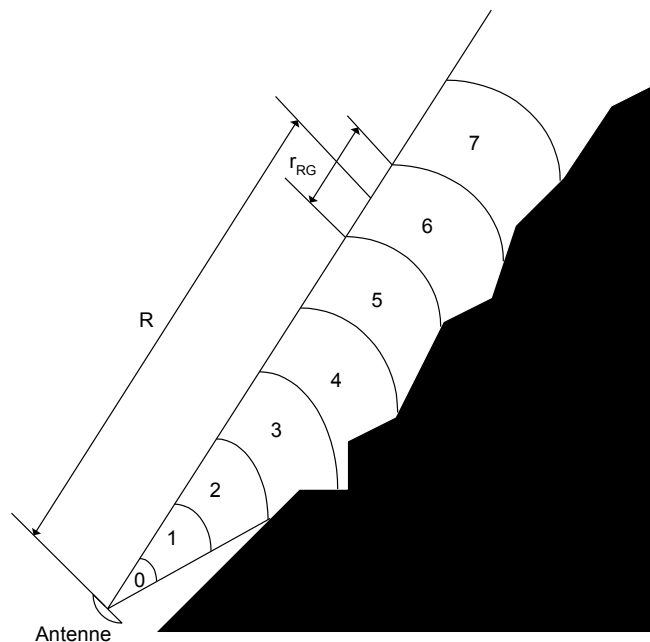


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Beleuchtung eines Berghanges mit einem pulsförmigen elektromagnetischen Wellenpaket.

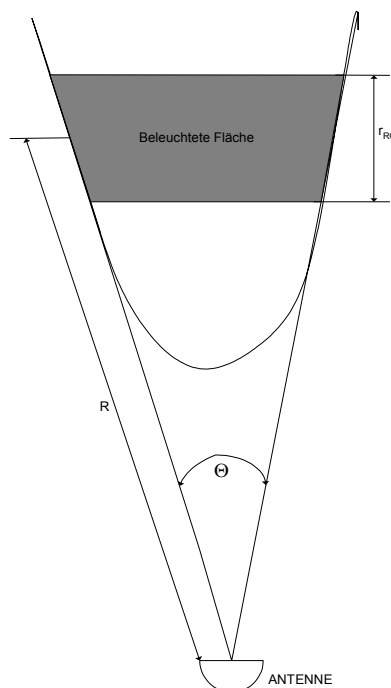


Abbildung 8: Beleuchtung eines Berghanges mit Sicht von oben.

Bewegt sich ein Objekt in einem solchen Entfernungsfenster mit der Geschwindigkeit v so kommt

es zusätzlich noch zu einer Frequenzverschiebung (Dopplereffekt) f_D .

Die Frequenz des reflektierten Signals wird zu:

$$f_{Doppler} = f_0 - f_D$$

mit f_D :

$$f_D = f_0 \frac{2v}{c}$$

ergibt sich eine der Geschwindigkeit proportionale Frequenzdifferenz. Das Vorzeichen ist bei sich nähernden Objekten positiv und bei sich entfernenden Objekten negativ. Aus einer Frequenzanalyse der Reflektierten Welle lässt sich somit ein Geschwindigkeitsspektrum in jeden Entfernungsfenster erstellen. Kompakte bewegte Objekten mit einer sehr gut definierte Geschwindigkeit werden daher mit einem sehr genau definierten Peak im Spektrum gemessen werden, Objekte ohne definierter Oberfläche wie zum Beispiel Lawinen, Muren, Wasser etc. werden ein breites Spektrum verschiedener Geschwindigkeiten aufweisen. Die Höhe des Spektrums hängt wieder mit der Rückstreulfläche des jeweiligen Objektes für die jeweilige Geschwindigkeit ab.

Mit dem H&S Naturgefahrenradar ist es nun möglich bewegte Objekte (auch 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. Je näher ein Objekt ist, desto kleiner kann das Objekt sein, bzw. desto größer kann der Antennenöffnungswinkel sein. 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.

Technische Umsetzung der Radareinheit

Im Kern handelt sich bei dem Naturgefahrenradar der Fa. H&S Hochfrequenztechnik GmbH um ein gepulstes Doppler-Radar mit digitaler Pulskompression. In einem direkte 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 geführt. 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 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 us) 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.

In Tabelle 4 sind die technischen Daten der Radareinheit zusammengefasst. Im Naturgefahrenradar ist nun diese Einheit mit entsprechender Antenne, Energieversorgung, Betriebscomputer und Kommunikationseinheit in einem wetterfestem 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).

Tabelle 4: Technische Daten der H&S-Hochfrequenztechnik Radareinheit

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		µs
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

5. Allgemeine Anlagenspezifikationen

a. Mechanische Architektur

Die mechanische Architektur besteht im wesentlichen aus einem Montagemast, einem Schaltschrank einer Antennenhalterung mit der Möglichkeit der Justierung der Antenne in horizontaler und vertikaler Ebene, der Antenne selbst, einer Videokamera und einem handelsüblichen Schaltschrank zur Aufnahme der Elektronischen Komponenten. In Abbildung 9 ist der Aufbau der Versuchsanlage Lattenbach zu sehen.

Da es bis auf Wetterfestigkeit keine besonderen Anforderungen an die mechanischen Komponenten gibt, können handelsübliche Bestandteile verwendet werden.



Abbildung 9: Versuchsanlage Lattenbach mit Antenne, UMTS-Antenne, Schaltschrank und Videokamera

b. Elektrische Architektur



Abbildung 10: Alle Elektronische Komponenten mit Radarmodul (15) und

- | | |
|--|---|
| 1. 1x 230 to 24V power supply | 8. 1x Electric meter kWh |
| 2. 1x 24V UPS | 9. 1x Schuko plug socket |
| 3. 2x 12V batteries | 10. 1x UMTS mobile internet connection device |
| 4. 1x 12V power supply for PC | 11. 1x Intelligent relay control device |
| 5. 1x 5V power supply for radar module | 12. 1x PC: fit-pC2i – with OS Debian Linux Wheezy |
| 6. 1x Network switch | 13. 1x Temperature controller for the 24V fan |
| 7. 1x main fuse | 14. 1x Radar Interface board |

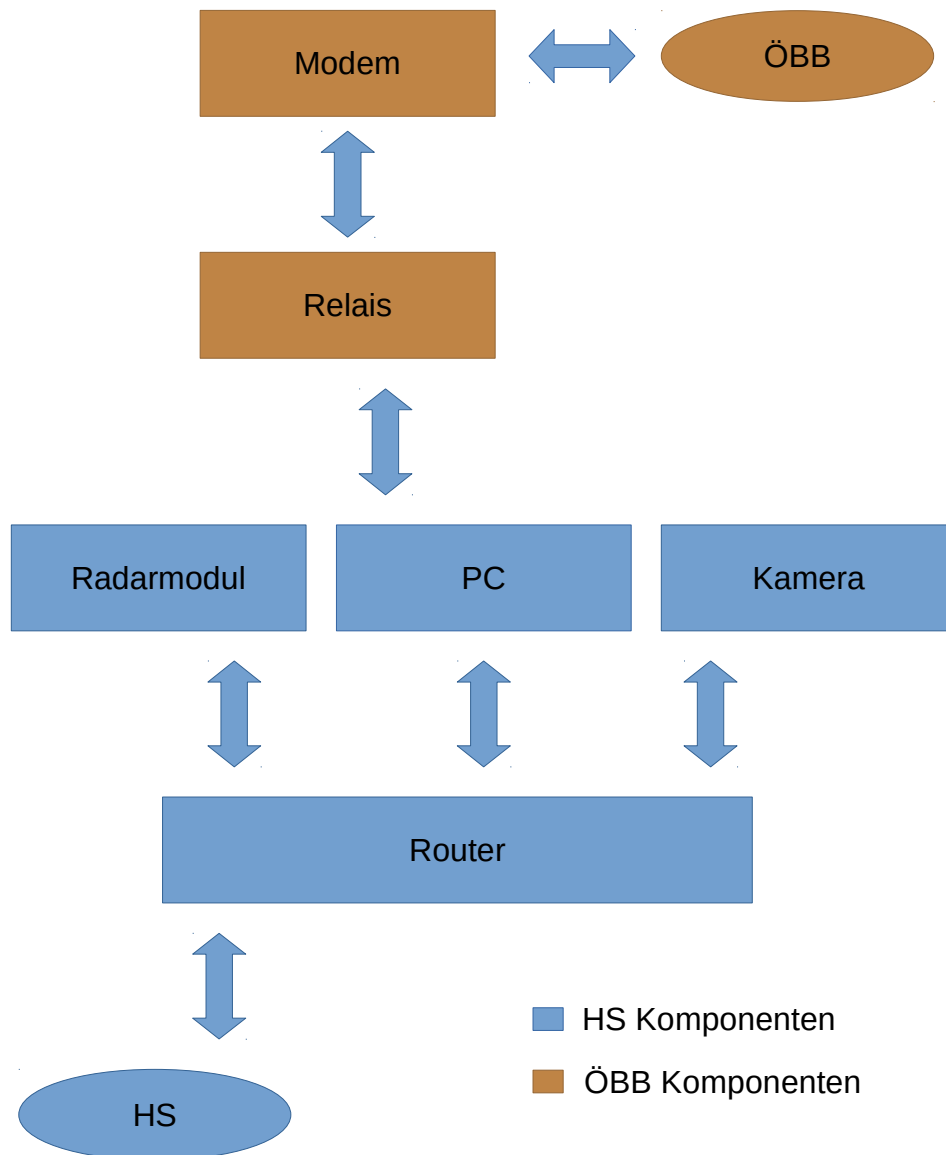


Abbildung 11: Prinzipschaltbild mit HS Komponenten und ÖBB Fernwirkanlage

In Abbildung 10 sind alle vorhandenen elektrische Komponenten aufgelistet. Bis auf das Radarmodul und der Kommunikationsplatine des Moduls handelt es sich ebenfalls um handelsübliche Komponenten (hier um Komponenten der Firma Phönix). Die Hauptanforderung ist ein Temperaturbereich für den Betrieb von -40 °C bis 60°C, um eine Verwendung bei jeder Witterung gewährleisten zu können.

In Tabelle 5 sind die Anschlussvoraussetzungen zusammengefasst.

Tabelle 5: Anschlussvoraussetzungen für das Radarsystem

Parameter	Wert
Leistungsaufnahme	ca. 35 W
Betriebsspannung	230V AC oder 24V DC
Temperaturbereich	-40°C - +60°C

Die Verbindung mit der ÖBB-Fernwirkanlage erfolgt über 4 Digitale Eingänge der Fernwirkanlage:

- 1 Ausgang auf "High":
Bedeutung: "Wasserstand überschreitet die Warnschwelle" (Warnschwelle orientiert sich nach dem Höchststand der bis jetzt vorhandenen Messdaten.)
- 2 Ausgang auf "High"

Bedeutung: "Kleiner Murenabgang (= Geschiebe)"
(Warnschwelle orientiert sich nach dem kleinen gemessenen Ereignis vom 26.9.2012)
- 3 Ausgang auf "High"

Bedeutung : "Großer Murenabgang"
(Warnschwelle orientiert sich nach dem kleinen gemessenen Ereignis vom 26.9.2012. Ein vergleichbares Ereignis soll nicht zur Überschreitung dieser Schwelle führen)
- 4 Ausgang auf "High"

Bedeutung:"Anlage funktioniert ohne Störung" (Sollte immer auf "High" sein)

c. Funktionstests

Tests die von Seite des Herstellers durchgeführt werden, um das Funktionieren der Anlage garantieren zu können.

i. Generelle Basisfunktionstests

Vor dem Einbau eines Moduls wird mit diesem im Labor mit und ohne Antenne ein standardisierten Test durchlaufen (Sender/Empfänger Leistungstests)

ii. Detektionstests

In definierter Außenumgebung wird mit Antenne Messungen von bewegten Objekten durchgeführt. Dabei wird die Funktionalität des Gerätes in Bezug auf die Detektion von Bewegungen überprüft. Als Mindestanforderung werden die Detektion eines Fußgängers im Bereich -1000 m, sowie die eines PKW's im Bereich -2000m definiert.

iii. Temperaturtests

Mithilfe eines Temperaturschranks wird das Verhalten der Radarmodule bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen überprüft. Es soll zeigen, dass es sowohl bei kalten Temperaturen

funktionstüchtig bleibt, als auch bei hohen Temperaturen nicht überhitzt.

Aufgrund der beschränkten Größenverhältnisse der Heiz- und Kühlkammern wird auf ein Messen mit Antenne verzichtet.

Die Daten des Moduls werden ständig über Netzwerk protokolliert und überwacht. Sie dürfen sich zu den Leermessungen aus den Basisfunktionstests nicht unterscheiden.

Ablauf des Kühlkammertests:

1. Das Radarmodul wird in die Kühlkammer eingebracht und eingeschaltet.
2. Die Temperatur der Kühlkammer wird auf -20° C eingestellt und gestartet..
3. Nachdem die Kühlkammer -20° C erreicht hat, wird das Radarmodul abgeschaltet.
4. Nach 10 Minuten wird das Radarmodul wieder eingeschaltet und die Daten wieder überprüft und dann wieder abgeschaltet.
5. Punkt 4. wird noch 3 mal wiederholt. Durch die Wartephase kann sich das Radarmodul durch sein eigene Abwärme nicht erhitzen und kühlt weiter aus. Dies soll gewährleisten, dass sich die Radarmodule auch bei Kälte starten lässt.
6. Zu Beginn der Aufwärmphase wird das Radarmodul eingeschaltet und Daten akquiriert.
7. Die Kühlkammer wird auf +40° C und einer Aufwärmzeit von 1h eingestellt.
8. Nach Erreichen der Zieltemperatur wird das Radarmodul eine weitere Stunde unter Vollast betrieben.

Werden alle dies Tests für ein jeweiliges Modul positiv durchlaufen, kann das Modul verbaut werden. Nachdem das ganze System einen Funktionstest durchlaufen hat, kann es ausgeliefert werden.

d. Instandhaltung/Service

Ist das Radarsystem an einem Standort im Einsatz, so wird die Funktion via Internetverbindung andauernd überwacht, alle Parameter können via Fernwartung angepasst werden und ein Systemausfall wird sofort erkannt. Ebenfalls ist es via Fernwartung möglich das System über eine längere Zeit auf Standby zu stellen und dann bei Bedarf wieder zu aktivieren und das System auf Funktion zu überprüfen.

Es wird empfohlen mindestens einmal Jährlich eine Sichtkontrolle vor Ort durchzuführen und all 3 Jahre den USV-Akkumulator auszutauschen.

Anlagen-Installationsbericht

Die Anlage in Lattenbach wurde erstmals am 26.06.2012 am Lattenbach bei Grins Tirol (10°30'38" O; 47°08'32" N) (siehe Abbildung 12) installiert. Abbildung 13 zeigt die Situation aus dem Blickwinkel des Radars. Die Integration der ÖBB-Fernwirkanlage erfolgte im Juni 2014.



Abbildung 12: Lage der Installierten Anlage mit rot eingezeichnetem Sichtbereich (Foto: Google Map)

1. Baustelleneinrichtung

Als Voraussetzung für die Installation war ein Mast mit 6 m Höhe und 20 Durchmesser, der direkt an die Brücke montiert werden konnte, sowie ein 240V Netzanschluss. Die Höhe des Mastes ergab sich aus der Tatsache, dass der Netzanschluss Flussabwärts installiert ist und das Radar daher über der Höhe des vorbeifahrenden Verkehrs installiert werden musste.

Die Installation des Radar-Systeme selbst mit Ausrichtung der Antenne und Einstellung der Radarparameter dauert ca. ½ Tag.

2. Aufbau Anlagenkomponenten

Siehe Kapitel 5 a und Abbildung 9



Abbildung 13: Montage des Radars am Standort



Abbildung 14: Überwachungsbereich des Radars (rote Markierung)

3. Herstellung Datenverbindung

An der Installationsstelle ist ein ausreichender Empfang mit einem Mobiltelefonnetz (A1) vorhanden, sowohl die Verbindung Radar-H&S Hochfrequenztechnik als auch die Alarmierung über die Fernwirkanlage erfolgt über das Mobile Netz.

4. Funktions/Kalibrierungstests

Um für eine zuverlässige Alarmierung zu sorgen wurden über einen längeren Zeitraum Daten gesammelt und dann wurden der Alarmierungsalgorithmus entwickelt und die Alarmierungsparameter erarbeitet. Im Falle dieser ersten Pilotanlage konnten über 2 Jahre Daten gesammelt werden und der entsprechende Algorithmus entwickelt werden. Für weitere Anlagen ist es ausreichend mit diesen gewonnenen Erkenntnisse eine Grundeinstellung vorzunehmen und dann laufend über eine Periode von 1- 2 Monaten die Parameter anzupassen.

5. Zeitablauf

06.2012	Installation des Radars
06.2012-06.2013	Datenanalyse und Entwicklung des Alarmierungsalgorithmus
06.2013-06.2014	Test des Alarmierungsalgorithmus und Anpassungen
06.2014-	Anbindung an die Fernwirkanlage der ÖBB und Funktionstests

Ergebnisse aus der Versuchsanlage

1. Zusammenfassung der Ergebnisse

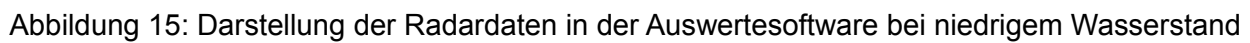
In Abbildung 15 ist die Datenmatrix des Intensitätsverlaufs des Radarechosignals in einem Entfernungsbereich (RG. 6 $\Leftrightarrow$ 150 m) über die Zeit gezeigt. Insgesamt liefern fünf Entfernungstore Informationen zum Geschehen im Bachlauf. Der Messverlauf des Radarechosignals ist in dieser Abbildung über den Zeitraum vom 23-26.8.2012 in 10 Minuten-Schritten dargestellt (das Radar liefert einen Datensatz alle 1/3 s). Im Fenster rechts oben in der

Auswertungssoftware beschreibt die Y-Achse den zeitlichen Verlauf der Messung und die X-Achse die gemessenen Geschwindigkeiten. 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 integriert über die Geschwindigkeitskanäle 100 bis 300 und ist ein Maß für das Abflussvolumen. 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 ein Maß für das Abflussvolumen dar und variiert je nach Wasserstand.

In Abbildung 16 ist der selbe Datensatz wiedergegeben, nur der Cursor ist nun an einer Stelle mit höherem Wasserstand. Im rechten unteren Diagramm ist nun ein deutlicher Anstieg im Geschwindigkeitsspektrum erkennbar. Nimmt man nun die Daten aus dem linken oberen Graphen und vergleicht diese mit Abflussdaten aus der an der selben Stelle installierten Ultraschallsensoren, so erkennt man, dass diese Datensätze sehr gut übereinstimmen (Abbildung 17). Dieses Summenspektrum kann also sehr gut als Abflussmaß genommen werden und eine Triggerschwelle definiert werden. Diese Triggerschwelle wird benutzt um in der Fernwirkanlage den Abflussalarm zu setzen.

Stellt man den Bereich des Cursors in Abbildung 16 in einer höheren zeitlichen Auflösung da (Abbildung 18; 1/3 s pro Zeile), so kann man sehr deutlich ein Peak in horizontaler Richtung erkennen. Dieses Ereignis war eine kleine Mure welche sich dann auch durch den ganzen Überwachungsbereich bewegte. Die Größenordnung dieses Ereignisses wurde als Trigger für die Alarmstufe 2 der Fernwirkanlage übernommen.

Die Alarmstufe 3 wäre dann ein Ereignis, welches dieses um 10 Größenordnungen übertrifft.



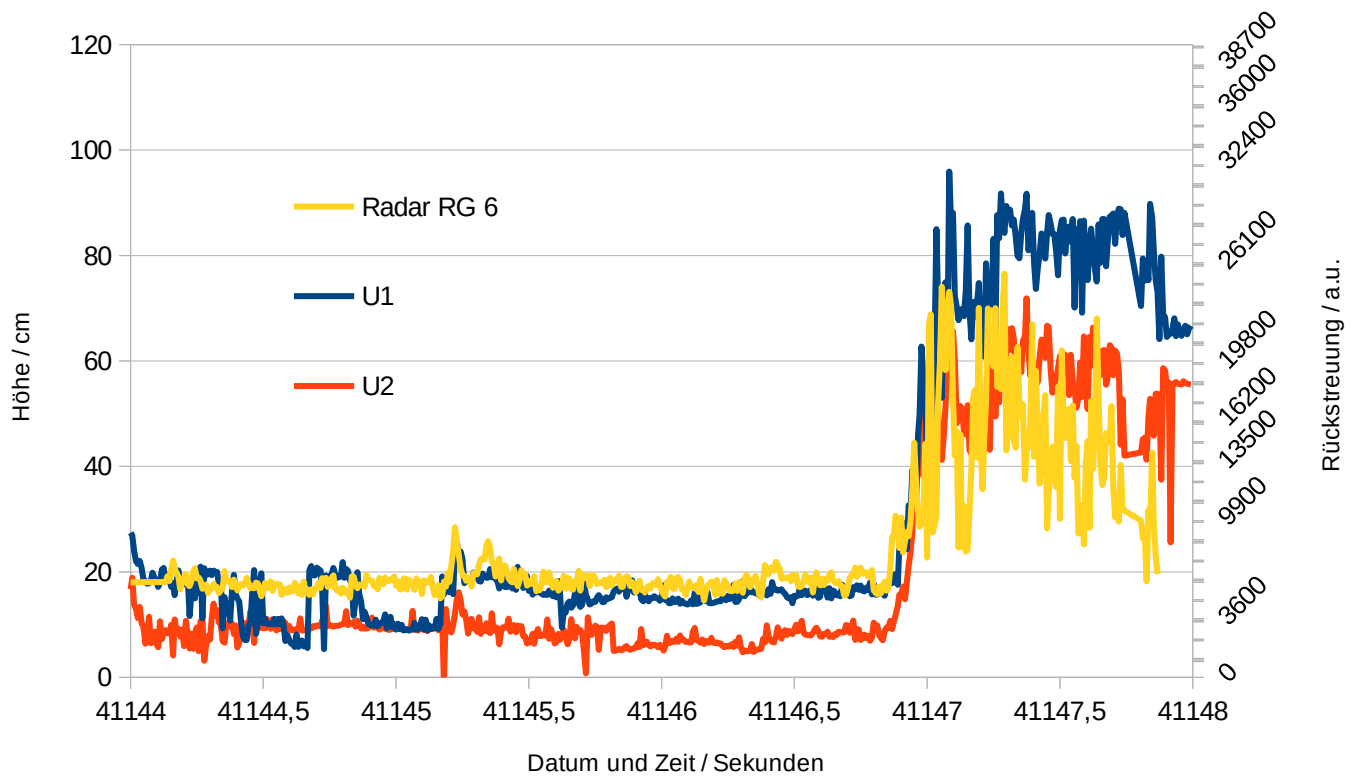


Abbildung 17: Vergleich des Summenspektrum der Radardaten mit den Ultraschallsensoren U1;U2

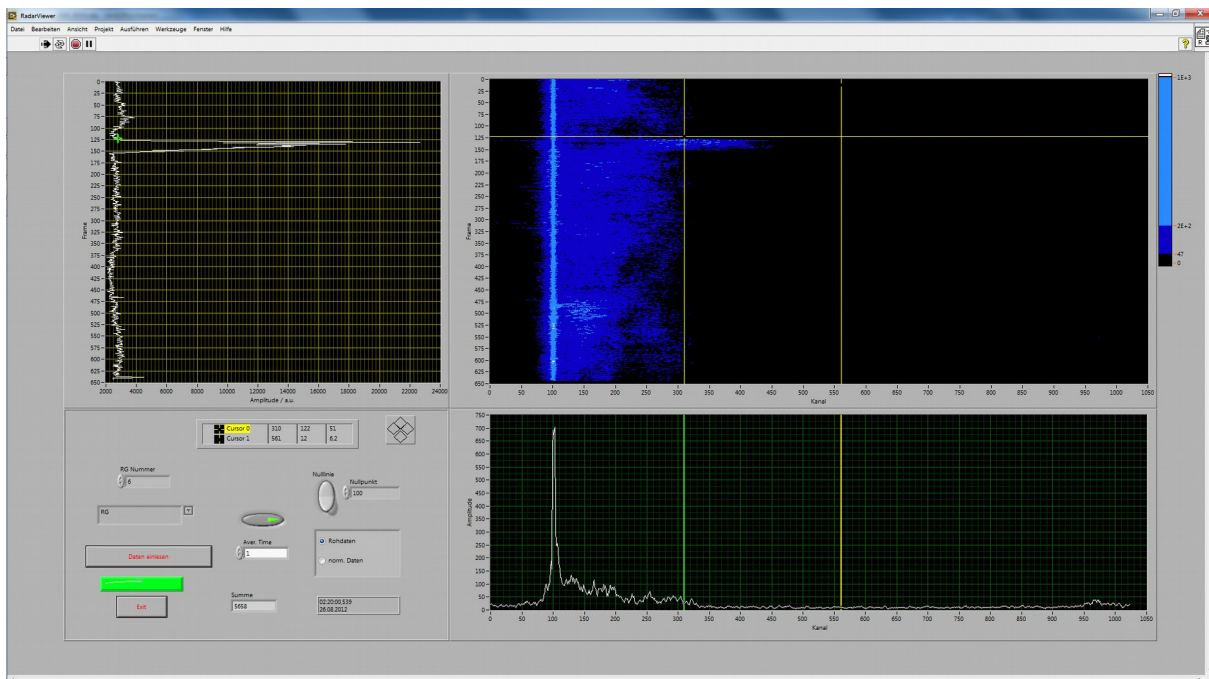


Abbildung 18: Darstellung der Radardaten des Cursor-bereiches aus Abbildung 16 in höherer zeitlicher Auflösung.

2. Veröffentlichungen

Poster for Workshop "Monitoring bedload and debris flows in mountain basins" – Bolzano 10. - 12. Oktober 2012:

On the use of high-frequency radar technology in alpine mass movement monitoring: principles and performance within torrential activities

Josef Pichler¹ and Richard Koschuch²

¹ Institute of Mountain Risk Engineering, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna, Austria, email: josef.pichler@boku.ac.at

² H&S Hochfrequenztechnik GmbH, Grambach (Graz), Austria, email: richard.koschuch@hs-equipment.com

Oral presentation at IAEG XII CONGRESS Torino 2014:

One year use of high-frequency RADAR technology in alpine mass movement monitoring: principles and performance within torrential activities

Richard Koschuch¹, Philipp Jocham² and Johannes Hübl²

¹ H&S Hochfrequenztechnik GmbH, Parkring 2, 8074, Grambach, Austria

² Institute of Mountain Risk Engineering, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Peter Jordanstraße 82, 1190, Vienna, Austria

6th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation 2015 Japan:

Use of an optimized Pulse Doppler RADAR technology in alpine mass movement monitoring

Richard KOSCHUCH¹, Philipp JOCHAM² and Johannes HÜBL²

¹ H&S Hochfrequenztechnik GmbH, Parkring 2, 8074, Grambach, Austria

² Institute of Mountain Risk Engineering, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Peter Jordanstraße 82, 1190, Vienna, Austria

3. Schlussfolgerungen

Die Erfahrungen seit der Installation in der Wintersaison 2011/12 zeigt auf beeindruckende Art und Weise das enorme Potential der präsentierten Radartechnik im Einsatz als selbstständiges Warn- und Überwachungssystem im Naturgefahrenbereich. Wie unsere Testergebnisse beweisen, können sowohl Schneelawinen als auch fluviale 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 mit einer zweiten Antenne eine Detektion von Starkniederschlagsereignissen möglich ist. Über den gesamten Zeitraum gab es keinerlei Einschränkungen der Messungen durch Umwelteinflüsse und/oder Sekundärprozesse. Selbst kalte Temperaturen bis -20°C oder Sommertage mit über 35°C haben die Überwachung nicht beeinflusst. Im Oktober 2014 wurde wahrscheinlich wegen einer Überspannung im Netz der Mess-PC beschädigt welcher inzwischen schon wieder ersetzt wurde.

Die Großen Vorteil dieses Systems sind der niedrige Installationsaufwand (Mast und Spannungsversorgung), eine zuverlässige und direkte Messmethode von Geschwindigkeiten und Abflüssen und der geringer Wartungs- und Service-Aufwand. Durch den geringen Installationsaufwand kann das System innerhalb eines Tages von einer Gefahrenstelle zur nächsten überstellt werden.

Appendix

1. Software

a. Software-Architektur

Die Software-Architektur wird durch verschiedene Aufgabengebiete vorgegeben. Diese umfassen die Erfassung und Aufbereitung und die Archivierung der Rohdaten, sowie die Analyse, Detektion von Ereignissen und Alarmen und die Reaktionen auf diese.

Parallel dazu gibt es ein Überwachungssystem das alle Komponenten auf Ausfälle und Störungen überwacht und gegebenenfalls Meldungen absetzt.

b. Datenerfassung

Dies geschieht durch die Software 'radard', die die Schnittstelle zwischen der eigentlichen Radarhardware und dem Steuercomputer über das Netzwerk zur Verfügung stellt.

Der Steuercomputer kann über Standard TCP/IP-Verbindungen, die Messung konfigurieren, starten, anhalten und Statusabfragen tätigen. Die Daten werden mittels RRD0 Datenformat (siehe 4. Protokoll/Datendateien) in Echtzeit vom Radarmodul ausgesendet. Das gleiche Format wird sowohl für den Datentransport über das Netzwerk, als auch für die Speicherung in Dateien verwendet.

Manche Anlagen werden zusätzlich zum Radarmodul mit einer Kamera ausgestattet. Die Bilder/Videos davon werden dezentral gesammelt um bei Bedarf die Analyse zu unterstützen. Dies ist derzeit ein manueller Prozess.

c. Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgt aus mehreren Gründen getrennt von der Datenerfassung.

- **Verlässlichkeit:** Die Datenerfassungssoftware beinhaltet wenig komplexe Algorithmen und damit wenig Fehler.
- **Rechenleistung:** Das Radarmodul besitzt derzeit eingeschränkte Rechenkapazitäten und so kann die rechenintensive Analyse ausgelagert werden.
- **Modularität:** Es können neue Analysemethoden leicht ausprobiert und eingesetzt werden, ohne die Datenerfassung zu stören.
- **Archivierung:** Die Rohdaten können einfach aufgezeichnet werden.

Die Basis der Auswertung ist eine zeitliche Beobachtung der Radarsignale. Je nach konfigurierten zeitlichen und relative Messwerten werden Ereignisse ausgelöst.

Im Rahmen des Projektes wurde der bestehende Algorithmus zur Detektion von Lawinen verbessert und für Muren adaptiert sowie weitere Algorithmen zur Detektion von Regen

und Abflussmenge entwickelt.

Detektion von Lawinen/Muren

Der Algorithmus vergleicht einen Daten Untergrund mit den aktuellen Messwert-Frame. Dieser Untergrund wird über eine laufende Mittelwertberechnung von Radardaten gebildet und ständig aktualisiert um langsame Umgebungsänderungen, wie Schnee, Nässe und Trockenheit auszugleichen. Eine Lawine ist dem gegenüber eine schnelle Änderung mit breitem Geschwindigkeitsspektrum, die sich in Richtung des Radars bewegt. Im Vergleich des Untergrundes zum aktuellen Wert kann anhand dieser Unterschiede ein Aussage über die Lawine getätigt werden.

Der bestehende Algorithmus wurde verbessert, indem weiter mögliche Quellen für Fehlalarme, wie Wind, Regen und Schwankungen in den Messwerte, besser erkannt und ausgeschlossen werden. Damit wurde die Kategorisierung in einem Internen und Externen Alarm robuster.

Anhand von Daten eines Geschiebes in Lattenbach konnte die grundsätzliche Eignung des bestehenden Algorithmus zur Detektion von Muren bestätigt werden.

Detektion von Regen

Die Radardaten eines Regens unterscheiden sich von denen eines Lawinenabganges vor allem dadurch, dass sie zeitlich stabiler sind und ein eher schmales Geschwindigkeitsspektrum aufweisen.

Im Gegensatz zum Lawinendetektionsalgorithmuses muss der Untergrund nicht ständig aktualisiert werden, da er kaum Änderungen unterliegt, was Rechenzeit einspart.

Detektion des Wasserabflusses

In Lattenbach liegt ein Fluss im Erfassungsbereiches des Radars. Durch die räumliche und zeitliche Auflösung des Radars ist es möglich das Fließgeschwindigkeitsspektrum des Flusses zu bestimmen. Eine Änderung dieses Spektrums korreliert eindeutig mit der Änderung des Abflusses. Da einer Mure immer schwere Regenfälle und damit einhergehend ein höherer Abfluss vorausgehen, kann diese Abflussänderung benutzt werden um eine Frühwarnung abzusetzen.

d. Alarmierung

Die errechneten Werte werden kategorisiert und den entsprechenden Stelle zugestellt. Die 2 Hauptkategorien sind

- Interner Alarm: Es ist ein außergewöhnliches Messergebnis aufgetreten, aber es entspricht nicht den Kriterien einer Lawinen/Mure. Auslöser können z.B Hubschrauber, starker Regen, Herden sein.
- Externer Alarm: Eine Lawine/Mure wurde detektiert.

Je nach Anwendung gibt es unterschiedliche Benachrichtigungsgruppen und -methoden (SMS,e-mail).

Jedes Ereignis wird aufgezeichnet und auf einem zentralen Server zur Überprüfung abgelegt. Dabei wird jeder Anlage ein eigener gesicherter Zugang zugeteilt.

2. Beschreibung User-Interface

a. Alarmierung

Die Alarmierung erfolgt im Normalfall mittels SMS oder Email. Im vorliegenden Projekt wurde eine Anbindung an das ÖBB-Alarmierungssystem vorgenommen.

b. Rohdaten

Die Rohdaten eines Alarm können mittels FTP (File Transfer Protocol) vom zentralen Server bezogen werden.

3. Konfiguration User-Interface

Keine Konfiguration.

4. Protokoll/Datendateien

Beschreibung Datenformat RRD0

```

+-----+-----+-----+-- // -+-----+-----+
|  RRD0  |      TVAL      |  INFO      |
| 4 Bytes|    8 Bytes    | 4088 Bytes |
+-----+-----+-----+-- // -+-----+-----+
+-----+-----+-----+-- // -+-----+-----+
|      0 | Datum * 1024    |
| 4 Bytes| 4096 Bytes      |

```

```

+-----+-----+-----+-- // --+-----+-----+
+-----+-----+-----+-- // --+-----+-----+
|      1 | Datum * 1024      |
+-----+-----+-----+-- // --+-----+-----+
...
+-----+-----+-----+-- // --+-----+-----+
|      N | Datum * 1024      |
+-----+-----+-----+-- // --+-----+-----+

```

Wobei

RRD0

Kennung als ASCII-Zeichen 'R' 'R' 'D' '0'

TVAL

Ergebnis eines Aufrufes von [gettimeofday\(\)](#), also aktueller Zeitstempel in UTC.

```

struct timeval {
    time_t tv_sec; /* Seconds. 4 Bytes */
    suseconds_t tv_usec; /* Microseconds. 4 Bytes */
};

```

INFO

Genaue Definitions und Kommentare:

Tabelle mit Position und Bytegrößen.

Position (Byte)	Größe (Byte)	Typ	Name	Kommentar
0	4	char[4]	RRD0	
4	4	int32	tv_sec	UTC
8	4	int32	tv_usec	
12	2	uint16	range_gates	
14	32	char[32]	profile	
46	32	char[32]	name	
78	2	char[2]	reserved_a	
80	4	int32	tm_gmtoff	
84	1	char[1]	antenna	
85	1	char[1]	reserved_b	
86	2	uint16	param_mode	
88	2	uint16	param_prf	
90	2	uint16	param_range	
92	2	uint16	param_blindrange	
94	2	uint16	param_rangegate_width	
96	4	uint32	param_amplitude	

100	2	uint16	param_compression_length	
102	2	uint16	param_tx_delay	
104	2	int16	param_pulse_delay	
106	2	uint16	polarity	
108	2	uint16	gliding_mean	ld
110	2	char[2]	reserved_c	
112	4	uint32	frequency	
116	2	uint16	integrate	ld
118	2	uint16	combine	ld
120	2	uint16	param_loops	
122	2	uint16	param_average_spectrum	
124	2	int16	param_rx_tx_start	
126	2	int16	param_rx_tx_end	
128	2	int16	param_cor_start	
130	2	int16	param_cor_end	
132	2	int16	param_pa_start	
134	2	int16	param_pa_end	
136	2	uint16	prf	
138	2	uint16	blind_gates	
140	2	uint16	divider	
142	6	char[6]	reserved_d	
148	2	int16	rx_delay_w	
150	2	uint16	blocks	