

Konzeption einer Geodaten- und Geodiensteinfrastruktur als Frühwarnsystem für Hangrutschungen unter Einbeziehung von Echtzeit-Sensorik

Zusammenfassung

Natürlich bedingte Phänomene wie Massenbewegungen äußern sich weltweit immer häufiger in der direkten Gefährdung von Menschenleben. Fortlaufende Entwicklungen zur Verbesserung von Überwachungs- und Frühwarnsystemen tragen zu einer direkten Minderung der Auswirkungen einer solchen Katastrophe bei. Das Verbundprojekt SLEWS (Sensor based Landslide Early Warning System) widmet sich der Weiterentwicklung von Technologien und Methoden klassischer Frühwarnsysteme. Ziel ist die prototypische Entwicklung eines flexiblen Systems für den Einsatz bei Hangrutschungen. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Kombination einer innovativen dienste-orientierten und auf internationalen offenen Standards basierenden Informationsinfrastruktur mit adaptierbaren und kostengünstigen Sensoreinheiten. Hiermit soll der Ablauf vom Messprozess bis hin zur Verteilung von Informationen und Warnhinweisen maßgeblich optimiert werden. Untersucht werden dabei die Einsatzmöglichkeiten von funkbasierten ad hoc Sensornetzwerken, Kombinationsmöglichkeiten spezifischer preisgünstiger Sensoreinheiten (Sensorfusion) und der Aufbau einer Geodaten- und Geodiensteinfrastruktur im Rahmen der OGC Sensor Web Enablement-Initiative.

Abstract

Early warning systems are becoming one of the main pillars of hazard prevention in natural disasters like mass movements. Therefore, the call for improvement of monitoring natural hazards is steadily growing on the international level. The SLEWS project (Sensor based Landslide Early Warning System) is investigating the improvement of existing systems. This is demonstrated for landslides. Main objective is the development of a flexible system, combining an innovative service orientated open-standard spatial information infrastructure with coupled situation specific low cost sensor units. Furthermore the complete information chain, starting from sensor measurements to information evaluation and the derivation of warnings will be widely optimized. In this context possible application of wireless ad hoc sensor networks, sensor fusion and implementation of services within the OGC Sensor Web Enablement initiative is being investigated.

lem die Entwicklung von Überwachungs- und Frühwarnsystemen zur direkten Risikoreduzierung im Vordergrund. Mit Hilfe geodätischer und geophysikalischer Messungen wird dabei ein Hanggebiet überwacht, rechnergestützt modelliert und mit Mitteln räumlicher Informationssysteme eine Situationsanalyse durchgeführt. Derzeit verfügbare Überwachungssysteme weisen meist eine monolithische Systemarchitektur auf, sind zwar spezialisiert und sehr leistungsfähig, jedoch gleichermaßen wenig flexibel und anpassungsfähig an andere Gegebenheiten. Sie ziehen dadurch hohe Beträge an Betriebs- und Personalkosten nach sich. Einbettung finden diese Systeme in einer komplexen und eng gegliederten Abfolge von Notfallprotokollen, deren genaue Einhaltung von kritischer Bedeutung für mögliche Frühwarn- und Rettungsszenarien ist. Das Versagen einzelner Elemente kann so unter Umständen zu massiven Störungen in der korrekten Verbreitung von benötigten Informationen und damit zu Fehlplanungen im Katastrophenmanagement führen.

2 Das Projekt SLEWS

Das Ziel des seit Frühjahr 2007 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Geotechnologien-Programms geförderten Verbundprojekts SLEWS (Sensor based Landslide Early Warning System) ist die Konzeption und prototypische Entwicklung von Methoden und Technologien für flexible und ressourceneffektive Alarm- und Frühwarnsysteme am Beispiel von Massenbewegungen. Im Fokus stehen dabei die folgenden Themenbereiche:

- Nutzung kostengünstiger, zuverlässiger und massentauglicher Sensorik auf Basis von drahtlosen Sensornetzwerken.
- Verbesserung der Aussagequalität und Reduktion von Fehlalarmraten durch Sensorfusion

AUTOREN

Bill, R.; Niemeyer, F.; Walter, K.

1 Motivation

Weltweit zeichnet sich eine erhöhte Anzahl von Naturkatastrophen mit direkten Auswirkungen auf den Menschen ab. Steigende Zahlen von nationalen und in-

ternationalen Programmen, die sich dieser Thematik annehmen, tragen diesem Problem Rechnung. Massenbewegungen wie z.B. Hangrutschungen stellen eines von vielen Beispielen dar, die sich in der direkten Gefährdung von Menschenleben und in der Bedrohung gesellschaftlicher Infrastrukturen äußern. Neben der Grundlagenforschung steht dabei vor al-

- Entwicklung und Aufbau einer dienste-orientierten und auf internationalen offenen Standards basierenden Geodateninfrastruktur für Katastrophenfälle (Bill, 2008) zur Integration von Echtzeitdaten und zum Geoprocessing
- Schnelle Bereitstellung von geeigneten nutzerspezifischen Informationen für die Akteure in Gefahren- oder Katastrophensituationen.

Vorteile gegenüber klassischen monolithischen Systemarchitekturen sind dabei vor allem in der Interoperabilität und Skalierbarkeit zu sehen sowie in der Möglichkeit zur Entkopplung von anfälligkeitsbehafteten hierarchischen Informationsstrukturen. Somit sollen bestehende Frühwarnsysteme verbessert bzw. mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln neue Methoden entwickelt werden. Im Projektfokus steht die Entwicklung eines autonomen Sensornetzwerks zur Überwachung von Hangrutschungsereignissen. Die Erfassung von Parametern wie Bewegungsrate, Bewegungsrichtung und Beschleunigung ist dabei, zusammen mit der Bewertung der Signifikanz eines Sensorsignals bezüglich der zugrunde liegenden geologischen Mechanismen, von zentraler Bedeutung. Hierzu sollen, im Rahmen einer optimalen Informationszusammenstellung, verschiedene Kombinationen von Detektoren zur Echtzeitüberwachung erprobt und in einem Sensornetzwerk fusioniert werden. Basis einer Sensoreinheit ist ein Mote (engl. Partikel), der als Grundplattform dient und wesentliche Ressourcen wie Energieversorgung, Vernetzung und Möglichkeiten zur Vorprozessierung und Verteilung von Daten bietet. Als Übertragungsmedium zur Vernetzung von Motes wird funkbasierte Technologie eingesetzt. Die Ausbringung eines funkgestützten Sensornetzwerks bietet eine gute räumliche Abdeckung in einem akzeptablen Verhältnis zum Installationsaufwand. Die Netztopologie soll dabei in Form eines ad hoc-Netzwerks größtenteils selbstorganisierend sein. Einzelne Motes sind in der Lage, sich selbstständig als Knotenpunkt in das Netzwerk zu integrieren. Eigene Daten sowie die benachbarter Knotenpunkte können in einer Multi-Hop-Strategie bis zu einer Datensinke weitergereicht werden (vgl. auch Born et.al, 2008 in diesem Heft). Da während dieser Art der Informations-

aggregation der Ortsbezug von Knotenpunkten nur relativ in Betracht gezogen werden kann, ist eine weitergehende Informationsanreicherung unter geodätischen Gesichtspunkten vonnöten, die eine Einordnung des beobachteten Teilgebiets der Erdoberfläche in ein globales Lagebezugssystem ermöglicht, anhand dessen erst absolute Aussagen über die Erfassung von Deformationsparametern erfolgen können.

Ein weiteres Kernziel besteht in der Entwicklung eines innovativen internet-basierten Informationssystems, dessen Aufgabenbereich von der Datensammlung und Informationsschöpfung bis hin zur Verteilung von Informationen und zur Formulierung von konkreten Warnhinweisen reicht. Basis dieses Informationssystems bildet im Wesentlichen eine raumbezogene Geodateninfrastruktur (GDI), entwickelt nach aktuellen internationalen Standards des Open Geospatial Consortium (OGC). Die Konzeption als dienstebasierte Informationsinfrastruktur soll dabei die syntaktische Interoperabilität zu externen Informationsressourcen sichern und eine Integration des Systems in externe Anwendungen fördern. Neben der Entwicklung standardisierter Schnittstellen zur Verbindung mit projektexternen Systemen ist die Bereitstellung von Schnittstellen zur direkten Interaktion mit möglichen Benutzern von wesentlicher Bedeutung. Hierbei sollen automatisierte Entscheidungsfindungsprozesse auf der

Grundlage von Expertenwissen für verschiedene Anwendungsfälle aufbereitet und dargestellt werden. Die Identifikation und Handhabung von Fehlfunktionen zur Minimierung der Anzahl von Fehlmeldungen spielt hierbei eine weitere wichtige Rolle. Je nach Stand des Vorwissens des Benutzers sollen Informationen und Hinweise auf verschiedenen Abstraktionsebenen angeboten werden – von detaillierten datenorientierten Ausgaben in Kartenform über „unscharfe“ bildbasierte Visualisierungstechniken bis hin zu einfachen Warnhinweisen über gängige Technologien wie SMS-Benachrichtigung.

Beteiligte Institutionen am Projekt SLEWS sind das Institut für Ingenieur-geologie und Hydrogeologie der RWTH Aachen (LIH), die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover (BGR), die ScatterWeb GmbH Berlin (SWB) und die Professur für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock (GGR). Abbildung 1 zeigt die Projektstrukturen und die thematischen Vernetzungen zwischen den beteiligten Einrichtungen. Weitere Informationen sind unter <http://slews.de> zu finden.

3 Stand der Forschung und Entwicklung

3.1 Aktuelle Überwachungssysteme

Ein monolithisches Überwachungssystem für deformationsgefährdete Objekte ist z.B. mit dem System GOCA (GNSS/LPS/LS-based online Control and ▶

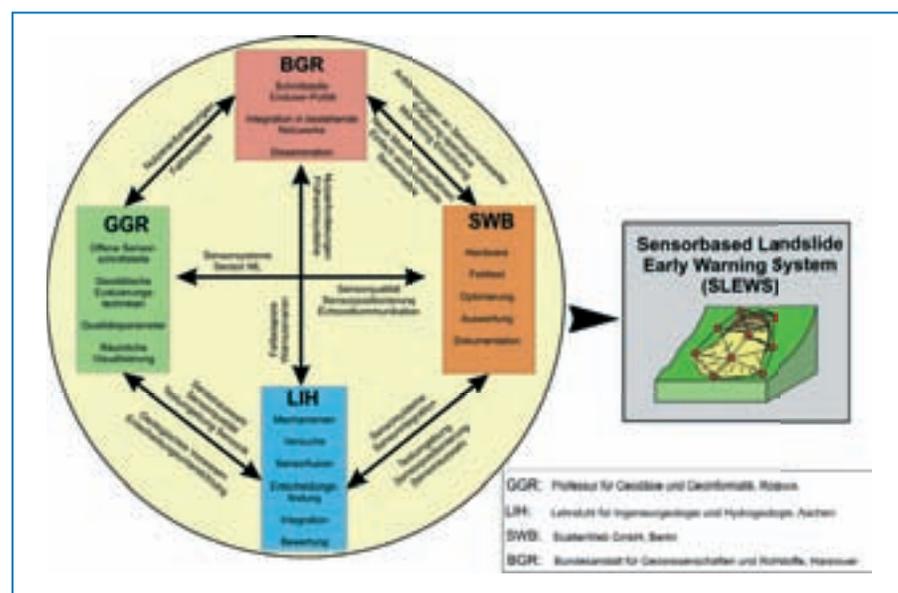


Abbildung 1: Darstellung der Aufgabenverteilung und der Interaktion zwischen den SLEWS-Projektpartnern

Alarm System) (Jäger, 2008) realisiert. GOCA wurde zur Echtzeitüberwachung von Bewegungen der Erdoberfläche entwickelt und findet Anwendung als Überwachungssystem u.a. bei Hangrutschungen, Vulkanen oder bei sicherheitsempfindlichen Bauwerken und geotechnischen Anlagen aller Art wie z.B. Dämmen oder Staumauern. Aufbauend auf dem Einsatz von Globalen Navigationsatellitensystemen (GNSS) wie GPS (Global Positioning System), Lokalen Positionierungssystemen (LPS) und lokalen Sensoren (LS, z.B. Inklinometern) werden Daten über drahtgebundene Netze oder Mobilfunk zu einem zentralen Rechner gesendet und dort verarbeitet. Über entsprechend entwickelte Software für die einzelnen Sensoren (z.B. GOCA-Deformationsanalysesoftware) findet eine Auswertung der Daten (Messepochen, Grenzwerte) statt. GOCA leistet dabei eine online Modellierung eines klassischen Deformationsnetzes, Aufzeichnung und Visualisierung der Zeitreihendaten in der GOCA-Zentrale vor Ort oder per Fernwartung, Filterung und Analyse der Zeitreihen und eine automatisierte Alarmierung beim Erreichen kritischer Zustände am Objekt. Die Datenübertragung findet über eine eigene Software-Schnittstelle statt. Die Entscheidungsfindung beruht auf geodätisch-statistischen Auswertemethoden.

Neben diesem operationellen System verfolgen verschiedenste Projekte unterschiedliche Strategien kabelloser Sensornetze für die Gefahrenbeobachtung, von der einfachen Benutzung als Telemetriesystem bis zum integrierten Informations verarbeitenden Netzwerk in einem Frühwarnsystem. Diese Entwicklungen zeigen das Potential kabelloser Sensornetze, speziell in der Anwendung verteilter Mikrosensoren und deren Fusion, auf.

(Terzis et al., 2006) beschreiben die Nutzung eines kabellosen Sensornetzes zur Ermittlung der Lage der Verschiebungsfläche bei einer Hangrutschung. Dazu werden so genannte Sensorsäulen eingesetzt, die mit vier unterschiedlichen Sensortypen ausgestattet sind: Geophone, Druckmesser, Porendruckmesser und Reflektometer. Diese werden verteilt über dem Hanggebiet in den Hang eingelassen und können über Funk Informationen ins Netzwerk über-

tragen. Die Funktionsweise teilt sich in drei Teilschritte auf. Im ersten Schritt werden kleine Verschiebungen entdeckt und mit Hilfe spezieller Algorithmen zwischen sich bewegendem und statischem Massenteil unterschieden. Während des zweiten Schrittes lokalisieren sich die Sensoren durch Trilateration. Anschließend werden die Verschiebungen berechnet. Im dritten Schritt schließt man über die Verschiebungsrichtung und deren Betrag auf die Position der Verschiebungsfläche. All diese Informationen fließen in ein Finite-Elemente-Modell ein, wodurch Prognosen über die Hangrutschung in Zeit und Raum getroffen werden können.

Das u.a. von der University of Colorado, Boulder bearbeitete Projekt „SenseSlide“ beinhaltet ein dezentrales Sensorsystem zur Vorhersage von Hangrutschungen nach starken Regenfällen und Schneeschmelzen (Sheth et al., 2005). Auch hier wird eine große Anzahl von kostengünstigen Dehnungsmessstreifen über das Hanggebiet verteilt installiert und mit einem Hauptknoten verbunden. Durch die fehlende Verbindung zwischen Sensor und deren Position kann nur Auskunft über die Felsbewegung an verschiedenen lokalen Stellen ohne Information über die Relativbewegungen zwischen den Felsblöcken gegeben werden. Bessere Vorhersagen lassen sich nur dann treffen, wenn man über die Ursachen der Hangrutschung genauer informiert ist.

Das Projekt „Wireless Sensor Networks with Self-Organization Capabilities for Critical and Emergency Applications (WINSOC)“ (Capodici et al. (2007) zielt u.a. auf die Nutzung von kabellosen Sensornetzen ab, um Hangrutschungen und Schlammströme zu erkennen. In diesem Projekt wird ein kabelloses Sensornetzwerk in einem Frühwarnsystem inklusive Hardware und Softwareentwicklung unter Berücksichtigung biologisch inspirierter Informationsverarbeitung (Schwarmintelligenz (Wikipedia, 2008c) entwickelt. Auch hier sollen die Informationen von einer großen Anzahl kostengünstiger Sensoren erfasst und in einem lokalen Vorhersageprozess verarbeitet werden.

Das Projekt SLEWS knüpft an diese vorgestellten Ideen und Konzepte an, setzt dabei aber auf die konsequente Implementation einer offenen generischen

Plattform zur adaptiven Realisierung verschiedener Anwendungsfälle. Je nach Szenario sollen Komponenten von Sensorik und Informationssystem modular skalierbar oder austauschbar sein. SLEWS reiht sich somit in aktuelle Bemühungen ein, wie sie z.B. von Projekten wie dem von der EU geförderten Projekt „Sensors Anywhere (SANY)“ betrieben werden (Havlik et al., 2006), um Sensoren und Sensornetze im Bereich Umweltgefahren interoperabel und kosteneffizient nutzbar zu machen.

3.2 OGC-Dienste als aktuelle Basis

Um die Sensoren und Sensorprozesse im Sensornetzwerk in einem dienstebasierten Kontext formal eindeutig als Informationsressource präsentieren zu können, ist die Einhaltung gewisser Standards notwendig. Ziel ist es, Angaben zur Sensorart, dessen Aufbau und Funktionalität, unabhängig von spezifischen physischen Parametern, einheitlich zu erfassen und über das Internet zugänglich zu machen. Der stetig wachsende Bedarf an sensorgestützten Echtzeitinformationen spiegelt sich in der Spezifikationsreihe des Sensor Web Enablement des Open Geospatial Consortium (OGC SWE) wider, deren Inhalt die standardisierte Einbindung von Sensorsystemen in internetbasierte Geodateninfrastrukturen (GDI) behandelt.

Eine GDI zeichnet eine Sammlung von Technologien, Richtlinien und Vereinbarungen aus, um Geodaten einheitlich verfügbar und zugänglich zu machen. Diese Sammlung umfasst die Integration von verschiedenen räumlichen Datenquellen, deren Inhalt und Auffindbarkeit durch eine angemessene Dokumentation beschrieben sein muss. Weiterhin beinhaltet sind Mechanismen zur direkten (visuellen) Bewertung, zum Zugriff und zur weiterführenden Verarbeitung der Geodaten (Nebert et al., 2004). Bei der Umsetzung der genannten Technologien kann es sich um eine Reihe von Diensten handeln, deren Schnittstellen durch OGC-Spezifikationen beschrieben und definiert sind. Studien und Pilotprojekte des OGC, wie die OGC Web Services Testbed Phasen 3 und 4, haben gezeigt, dass infrastrukturorientierte standardisierte Technologien einen implementierbaren Status erreicht haben und in der Lage sind, klassische monolithische Sys-

Tabelle 1:

Spezifikationen der OGC SWE-Reihe

Spezifikation	Beschreibung
Observations & Measurements Schema (O&M)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Sensordaten
Sensor Model Language (SensorML)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Sensorik und Sensorprozessen
Transducer Markup Language (TML)	Schema und Modelle zur standardisierten Beschreibungen von Messwertgebern
Sensor Observations Service (SOS)	Standardisierter Dienst zur Anforderung von Sensorbeobachtungsdaten
Sensor Planning Service (SPS)	Standardisierter Dienst zur Anforderung und Planung von nutzerbasierten Datenanfragen
Sensor Alert Service (SAS)/Web Notification Services (WNS)	Standardisierte Dienste zur Übermittlung sensorbezogener Meldungen

teme zu erweitern oder zu ersetzen (Percival, 2007). Diese Technologien lassen sich unter dem Oberbegriff „Open Web Services“ zusammenfassen und spiegeln das Web Service-Paradigma in der Funktionsverbindung von externen Informations- und Prozessierungsressourcen wider. Ein Web Service bietet die Erfüllung spezifischer Dienste modular über das Netzwerk an und kann von einem Benutzer oder einem weiteren Dienst in Anspruch genommen werden. Die Bildung komplexer Verarbeitungsstrukturen ist somit durch die automatische Verketzung verteilter Dienste realisierbar. Je nach Betrachtungsweise und als Ersatz für ein monolithisches System lässt sich eine GDI als ganzheitliches Konstrukt mit zentralem Einstiegspunkt oder aber als Orchestrierung einer Ansammlung von interkonnektiven Prozessen verstehen (Weiser et al., 2006, Donaubaier et al., 2007). Als wesentlicher Vorteil ist dabei der Zugewinn an Flexibilität zu sehen, der zwar eine hierarchische Organisation ermöglicht, dabei aber die Einsehbarkeit aller Einzelschritte gewährt. Eine Neuordnung aller Komponenten sowie die Einbeziehung externer verteilter Ressourcen sind jederzeit möglich. Ermöglicht wird dies über selbstbeschreibende Schnittstellenspezifikationen, welche Ein- und Ausgabeparameter sowie ausführbare Operationen klar definieren.

Spezifikationen dieser Art stehen durch das OGC für einen breiten Bereich der räumlichen Informationsverarbeitung in vorläufigen und verabschiedeten Versionen bereit und können für den

Produktiveinsatz verwendet werden. Als am weitesten entwickelte und eingesetzte Spezifikationen sind hierbei der Web Map Service (WMS), der Web Feature Service (WFS), der Web Coverage Service (WCS) sowie der Web Catalogue Service (CSW) zu nennen. Damit implementierte OGC Web Services (OWS) bilden die Grundlage von Geodateninfrastrukturen, wie sie sich auf internationaler Ebene (GSDI, INSPIRE), nationaler Ebene (GDI-DE) sowie auf Landesebene (GDI-NRW, GDI GeoMV) in der Entwicklung befinden (IMAGI, 2006).

Die OGC SWE-Initiative erweitert das Informationsangebot einer GDI um die reibungslose Integration von Sensorbeobachtungen in Echtzeit. Das Ziel ist es, alle Arten von verfügbaren Sensoren und Instrumenten, aber auch Archive von Sensordaten über das WWW auffindbar, zugreifbar und wenn möglich auch kontrollierbar zu machen. Gängige Dienstspezifikationen und Schemata der OGC SWE-Reihe sind in Tabelle 1 angegeben.

4 Aufbau des Frühwarnsystems

4.1 Sensorauswahl und -fusion

Um Massenbewegungen wie Hangrutschungen festzustellen, werden signifikante Stellen auf bzw. im Hang mit Sensoren instrumentiert. Sensoren erzeugen digitale Signale, die stellvertretend für eine physikalische Messgröße stehen und die an einer zentralen Stelle gesammelt und ausgewertet werden. Je nach zu beobachtendem Naturphänomen ergibt sich eine spezifische Sensoren- bzw. Detektorauswahl. Für den betrachteten Fall Hangrutschung sind beispielsweise neben low cost-Detektoren für Feuchtigkeit (z.B. für Regenfälle), Erschütterungen (z.B. für sprunghafte Bewegungen von Felsblöcken), Akustik (zum Lokalisieren von Bruchzonen) und Weggeber (z.B. zur Detektion von ►

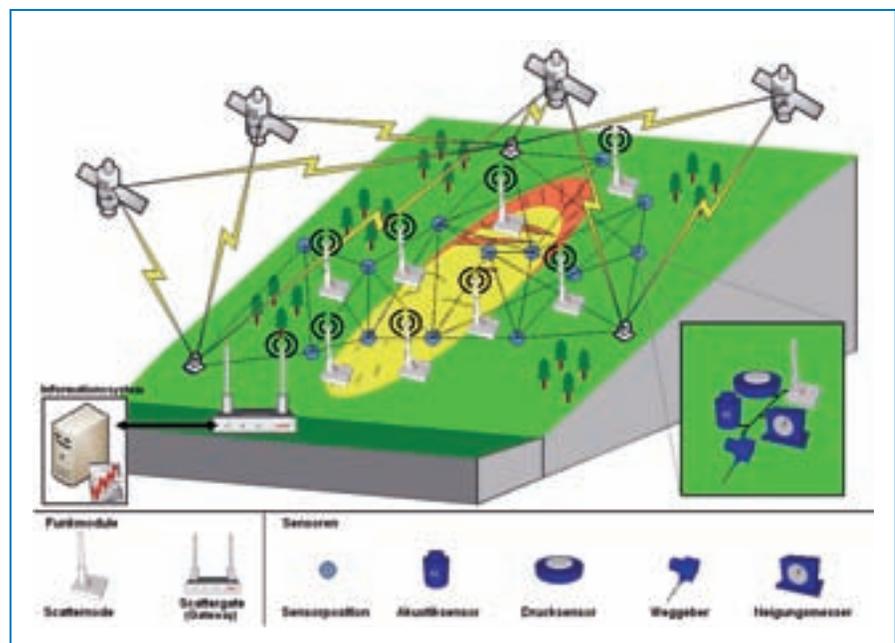


Abbildung 2 : Skizzenhafte Darstellung eines drahtlosen Sensornetzwerkes (incl. Weggebern, Beschleunigungsmessern etc.) auf einem rutschenden Hang, der mit einem geodätischen Netz zur Sensorlokalisierung versehen ist, wobei GPS den übergeordneten Lagebezug herstellt.

Spaltenbewegungen) auch aufwendigere und in der Regel teurere Sensoreinheiten wie LPS bzw. GPS zum Einbinden der Sensorposition in ein übergeordnetes geodätisches Referenzsystem, einsetzbar. Mehrere dieser Detektoren werden auf einem Sensor-Mote installiert bzw. mit diesem verbunden. Mit Hilfe einer miniaturisierten Controllereinheit - mit Rechneinheit, beschränkter Speicherkapazität und Prozessorleistung - werden die Detektoren abgefragt. Abbildung 2 deutet ein Sensornetzwerk für ein Frühwarnsystem an. Im Projekt SLEWS wird der Einsatz verschiedener Sensortypen untersucht (Arnhardt et.al. 2007).

Varnes klassifiziert die Hangbewegung in 6 Bewegungsarten: Fließen, Fallen, Kippen, Gleiten, Driften und Kriechen (Varnes, 1976). Da die Bewegungsraten für Fließbewegungen (z.B. Schlammströme) sehr hoch sind (m/s) und dadurch sehr kurze Vorwarnzeiten bestehen, bleibt diese Bewegungsart in SLEWS vorerst unberücksichtigt. Im Gegensatz dazu findet beim Kriechen eine sehr langsame Massenbewegung statt (mm/a). Die Vorwarnzeiten sind extrem groß, wenn man überhaupt von

einer Gefährdung sprechen kann. Im Projekt SLEWS wird daher der Schwerpunkt auf die Bewegungsarten Felskippen, Felsgleiten, Felssturz bzw. Translations- und Rotationsbewegungen im Lockergestein und Driften gelegt.

In Tabelle 2 wird der Einsatz der verschiedenen Sensorarten hinsichtlich der zu beobachtenden Bewegungsart bewertet. Bspw. lassen sich Beschleunigungssensoren für die Bewegungstypen Fallen, Kippen und Gleiten gut verwenden, da hier Bewegungen mit hohen Beschleunigungskräften existieren. Das Driften hingegen ist ein relativ langwieriger Prozess ohne hohe Beschleunigungsraten. Dem gegenüber sind Neigungssensoren beim Fallen und Driften weitestgehend bedingt geeignet, da hier kaum Kippbewegungen stattfinden, die noch rechtzeitig eine Frühwarnung auslösen können. Wegaufnehmer sind für alle vier Arten sehr gut geeignet, denn bei jeder Bewegungsart entstehen Risse und Spalten, die mit diesen Sensoren überwacht werden können. Die akustischen Sensoren, erfolgreich in Japan eingesetzt (Shiotani, 2000), sollen mögliche Geräusche bei Massenbewegungen

detektieren. Höhenmeßsensoren in Form von Luftdrucksensoren können eine Höhenänderung bei vertikalen Massenbewegungen erkennen.

Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren sowie Porenwasserdrucksensoren überwachen in erster Linie die auslösenden Faktoren wie Feuchtigkeit, Niederschlag usw., nicht aber die Bewegung selbst. Diese Sensoren sind in der Regel ergänzende Sensoren, die in Kombination mit anderen erst Informationen zu Bewegungsabläufen liefern. Niederschlagsmessungen können für eine Gefahreinstufung bei starken Regenfällen vor allem in Gebieten mit Gleit- und Driftbewegungen genutzt werden.

Zu der Gruppe der geophysikalischen Sensoren gehören u.a. Geophonketten und Seismometer, die sehr gut für Gleitprozesse geeignet sind. Die Einbindung dieser Systeme und deren Auswertung stellen sich aber schwierig dar. Zudem liefern sie nur Intensitätswerte von Schwingungen, jedoch keine genauen Werte z.B. von Verschiebungen.

Sensormessungen sind in der Regel nur aussagekräftig, wenn ihre räumliche Position bekannt ist. Um Deformationsvektoren mit globalem Bezug zu erhalten, werden in besonders gefährdeten Gebieten geodätische Netze angelegt. Diese Netze sind in der Regel mit einem hohen Aufwand an Personal, Installations- und Betriebsarbeiten verbunden und somit teuer. Es stehen zahlreiche Positionierungssysteme und -methoden zu Verfügung. Als Beispiele seien hier das Global Positioning System (GPS) (Bauer, 2003), die photogrammetrische Vermessung, die Radarvermessung (Luhmann, 2003) und geodätische terrestrische Netzmessverfahren über Winkel und Strecken (Kahmen, 2006) genannt. Bei Hangausdehnungen von einigen Hundert Metern haben sich solche geodätischen Messverfahren etabliert. Da hier jedoch direkte Sichtverbindungen zwischen den Knotenpunkten nicht immer garantiert werden können, sind durchaus Entwicklungen neuer Positionierungsmethoden, gerade für kabellose Sensornetzwerke, vielversprechend. In Funknetzen wie z.B. im GSM-Mobilfunknetz (Funkzellenortung) oder in drahtlosen Rechnernetzen mit WLAN (Trilateration über Empfangsstärke) oder BLUETOOTH (Bill et al., 2004) sind

Tabelle 2:
Sensortypen und ihre Eignung zum Nachweis ausgewählter Bewegungsarten

Sensoren	Fallen	Kippen	Gleiten	Driften
Beschleunigungssensor	Sehr gut geeignet	Gut bis sehr gut geeignet	Gut bis sehr gut geeignet	bedingt bis gut geeignet
Neigungssensor	Bedingt geeignet	Sehr gut geeignet	Gut geeignet	Bedingt geeignet
Wegaufnehmer	Sehr gut	Sehr gut	Gut bis sehr gut geeignet	Sehr gut
Akustiksensoren	Gut geeignet	Gut geeignet	Gut geeignet	Bedingt bis gut geeignet
Höhenmessensoren	Sehr gut geeignet	Gut geeignet	Gut geeignet	Bedingt geeignet
Temperatursensoren	Bedingt geeignet	Bedingt geeignet	Gut geeignet	Bedingt bis gut geeignet
Feuchtigkeitssensoren	Bedingt geeignet	Bedingt geeignet	Gut geeignet	Gut geeignet
Porenwasserdruckgeber	Bedingt geeignet	Bedingt geeignet	Gut geeignet	Gut geeignet
Geophysikalische Messsensoren	Bedingt bis gut geeignet	Bedingt bis gut geeignet	Gut geeignet	Bedingt bis gut geeignet
GPS	gut	gut	Sehr gut	Sehr gut
UWB	Bedingt geeignet	gut	Sehr gut	Sehr gut

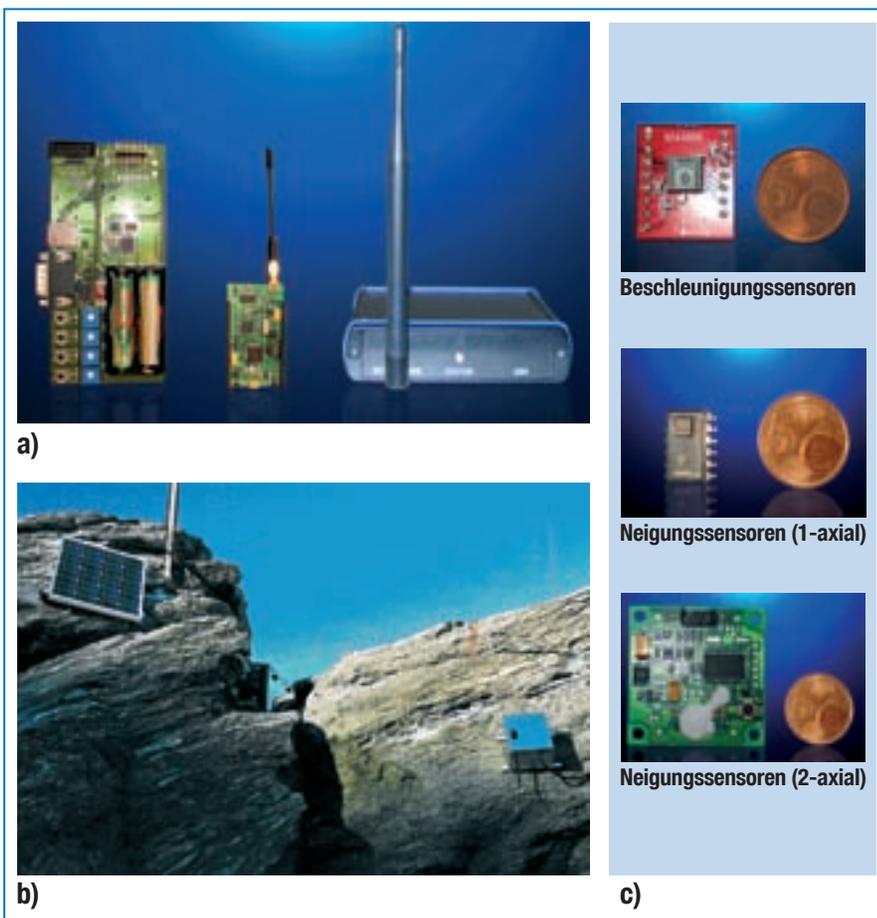


Abbildung 3: a) Sensor Mote mit Funkmodul (ScatterNode), b) ScatterNode im Feldeinsatz, c) Detektoren im Größenvergleich (Arnhardt et.al., 2007)

heute schon Positionsbestimmungen möglich, jedoch ist die ermittelte Positionsgenauigkeit bis in den Meterbereich realisierbar und für die Anwendung in einem Frühwarnsystem noch ungeeignet. Ein vielversprechender und auch genauerer Ansatz ist mit Ultra-Breitband (UWB) gegeben. Diese Methode verspricht eine Entfernungsmessung per Funk über Impulsverfahren bis 10GHz mit höherer Genauigkeit (Blankenbach, 2007).

Für alle Sensorarten stehen sowohl kostengünstige, als auch teurere Sensorversionen bereit. Durch die Kombination (Sensorfusion) verschiedener low-cost-Sensoren verspricht man sich eine gesichertere Aussage bzw. Detektierung von Massenbewegungen und durch die Integration dieses Sensorsystems in eine Geodaten- und Geodiensteinfrastruktur eine mögliche Frühwarnung zur Gefahrenabwehr.

Im Rahmen des Projektes sind die Wahl und das Testen entsprechender

Sensorkonfigurationen und die Datenerfassung verschiedener Sensoren für eine qualitativ bessere Vorhersage von größter Bedeutung. Aktuell werden an der RWTH Aachen Tests mit Neigungssensoren, Wegaufnehmern, Beschleunigungssensoren und Drucksensoren durchgeführt. Geplant sind weitere Versuche mit Geophonen (Akustiksensoren). Der Schwerpunkt liegt in der Bestimmung realistischer Szenarien und entsprechender Sensorprofilanforderungen. Die Ergebnisse realistischer Experimente mit unterschiedlichen Sensoren werden analysiert und bezüglich ihrer Qualitätsaussage ausgewertet.

4.2 Sensornetzwerk

Die Datenübertragung von der Echtzeitsensorik im Geosensornetzwerk zur Weiterverarbeitung in einer Geodateninfrastruktur erfolgt per Funk. Funkmodule entwickeln sich zu immer kleineren und leistungsfähigeren Modulen. Mehrere vernetzbare Funkmodu-

le, nach der Graphentheorie auch Nodes genannt und als Teilkomponenten auf den Motes für die Kommunikation verantwortlich, lassen sich in kabellosen ad hoc Sensornetzwerken kombinieren. Dabei nehmen die Nodes untereinander automatisch Kontakt auf und organisieren eine eigene Netzstruktur. Moderne Messknoten in kabellosen Sensornetzwerken werden streng modular aufgebaut und bieten offene Schnittstellen zu unterschiedlichen Sensoren an. Sie unterstützen durch diese offenen Schnittstellen die Integration vieler verschiedener Sensoren. Gegenwärtig erhältliche Produkte sind meist Experimentierplattformen und nur bedingt marktfähig.

Die „ScatterNodes“ des Projektpartners ScatterWeb GmbH erfüllen die Anforderungen des europäischen Standards EN 300-200 und sind für einen operationellen Einsatz geeignet. Sensordaten werden in den verteilten Nodes gesammelt und im Multi-hop-Modus über das funkgestützte Sensornetzwerk zur Datensinke, dem „ScatterGate“, geschickt. Diese Datensammelpunkte können weitere Arbeiten ausführen, wie z.B. Datenvorverarbeitung (preprocessing) oder Komprimierung. Schließlich werden die Daten bspw. über GSM/UMTS und einen Sicherheits-Remotезugang via Internet zur weiteren Auswertung in der GDI bereit gestellt. Abbildung 3.b) zeigt den Einsatz von ScatterNodes im Feld. Sparsamer Energieverbrauch ist die Schlüsselanforderung für eine lange Lebensdauer eines kabellosen Sensornetzwerkes. Moderne Systeme verwenden aus diesem Grund verschiedene power down- und wake up-Modi. Die Funkmodule übermitteln in wiederkehrenden Intervallen Daten nach einem festgelegten Übertragungsprotokoll. So ist es möglich, dass kabellose Sensornetzwerke über Jahre im Feld mit Standardbatterien oder wo möglich mit Solarzellen arbeiten.

4.3 Informationssystem und GDI

Organisatorisch ist eine Unterteilung aller Prozesse und Dienste der GDI, die die Grundlage des Frühwarnsystems bildet, in mehrere Ebenen vornehmbar, beginnend bei Messung eines Phänomens bis hin zur Bereitstellung eines Informationsprodukts. ▶

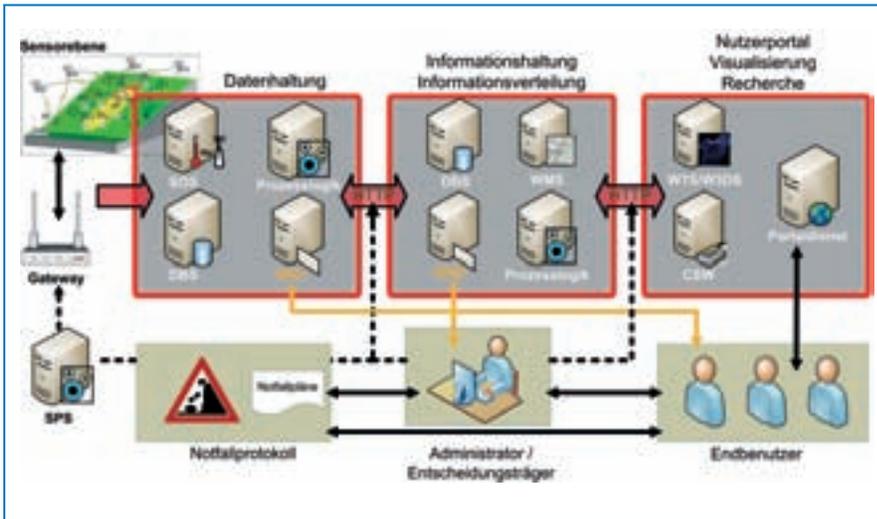


Abbildung 4: Geplante SLEWS Systemarchitektur: Messung bis Informationsaustausch (links oben: Sensorebene, Mitte: Informationsverarbeitung, unten: Frühwarnung. (Abkürzungen siehe Kapitel 4.3.2 und Tabelle 1)

Sensorebene:

Die Sensorebene umfasst die Datenerhebung am Hang und somit die Durchführung von Messprozessen auf allen Knotenpunkten innerhalb des Sensornetzwerkes sowie die kollektive Übermittlung von Messdaten an eine Datenbank. Die formale Beschreibung des Sensornetzwerkes sowie seiner Komponenten und den daraus resultierenden Prozessstrukturen erfolgt mit der hierarchischen Auszeichnungssprache SensorML (Botts, 2006). SensorML ermöglicht unter anderem die formale Erfassung der physikalischen Parameter des Sensorsystems und seiner Detektoren sowie die Beschreibung aller an der Messung beteiligten Prozesse. Durch diese Formalisierung kann die Auffindbarkeit des Systems als Ressource über einen Verzeichnisdienst über das Internet sichergestellt werden. Weiterhin ist durch den selbstbeschreibenden Charakter von SensorML eine automatisierte Einbindung in weitere interoperable Informationssysteme möglich. Ähnlich dem Prinzip der Verkettung von Web Services ist durch diese Automatisierung die Bildung autonomer räumlich verteilter Sensornetze denkbar. In diesem Kontext ist vor allem die semantische Erfassung eines Sensors bzw. eines Sensornetzwerkes von Interesse. In einem Informationssystem, in dem die Integration fusionierter Messdaten im Mittelpunkt steht, bleibt es zu entschei-

den, auf welcher Abstraktionsebene ein Sensornetzwerk der Außenwelt gegenüber beschrieben sein muss, um eine umfassende Interoperabilität gewährleisten zu können. Ebenso bleibt es zu entscheiden, inwiefern bidirektionale Zugriffe durch den Nutzer, abseits des duty cycling, wie z.B. in Form einer aktiv eingeleiteten Messreihe, zulässig sind. Operationen wie diese sind durch den Einsatz eines Sensor Planning Service (SPS) durchaus denkbar, sind jedoch im Rahmen einer energielimitierten Messumgebung kritisch zu betrachten.

Datenhaltung:

Die Datenhaltungsebene schließt direkt an die Datenbank der Sensorebene an. Prozesse einer Geschäftslogik haben über ein Gateway auf die Messdaten des Sensornetzwerkes Zugriff und bereiten diese zur dauerhaften Massenspeicherung in einem Datenbanksystem (DBS) auf. Zentraler Bestandteil der Datenhaltung bildet der Sensor Observation Service (SOS) (Botts, 2006). Der Dienst bietet standardisierten Zugriff zur Bereitstellung von Sensordaten über das Internet, unabhängig von der zugrundeliegenden Sensor- und Datenstruktur. Somit ist der SOS als Vermittlungsstelle zwischen einem beziehenden Client und der Datenhaltungskomponente zu verstehen. Bei der Datenhaltungskomponente kann es sich z.B. sowohl um ein Archiv-Datenbanksystem als auch um

einen Datenkanal zur Echtzeitüberwachung handeln. Ebenso ist der Einsatz von Analyse- und Prognoseprozessen schon an dieser Stelle vorstellbar, um beispielsweise Datenanfragen entgegenzukommen, deren Beobachtungsdatum in der Zukunft liegen. Zur formalen Codierung der Daten kommt, analog zur SensorML, die hierarchische Auszeichnungssprache Observations & Measurements (O&M) zum Einsatz, die als Partnerspezifikation zum SOS den Datenzugriff unabhängig vom Quellsystem vereinheitlicht (Botts, 2006).

Eine wesentliche Problemstellung stellt der zu erfüllende Anspruch eines Echtzeitbeobachtungssystems dar. Während klassische Überwachungssysteme im Sinne der Kommunikationsrichtung ein Push-Modell umsetzen, handelt es sich im dienstebasierten Kontext einer Client-Server-Kommunikation um ein Pull-Modell. Nach diesem Schema stellt der SOS einen passiven Dienst dar, der lediglich auf zielgerichtete Anfragen reagieren kann. Um jedoch eine, von spezifischen Parametern abhängige, ereignisbasierte Handlungskette auslösen zu können, ist ein aktiver Kommunikationsaufbau erforderlich. Um diesen zu erreichen, wäre der Einsatz eines Sensor Alert Service (SAS) denkbar. Der SAS umfasst einen verbindungsorientierten Dienst mit ereignissynchroner Zustellung zur Verteilung von relevanten Sensormeldungen und -ereignissen. Mögliche Clients sind in der Lage, sich im Vorfeld beim Dienst über das Internet zu registrieren, um beim Eintreffen spezifischer Kriterien und Parameter eine Benachrichtigung zu erhalten (Bsp.: Textnachrichten an Web Browser oder Instant Messenger). Ebenso können automatisierte Funktionen folgender Prozessschichten durch gezielte Systemmeldungen ausgelöst werden, um über den SOS hochaktuelle Daten abrufen zu können.

Informationshaltung und -verteilung:

Die Informationshaltungsebene stellt das Herzstück des Überwachungs- und Frühwarnsystems dar. In einem ersten Schritt werden Messdaten in einen semantischen und syntaktischen Kontext gesetzt und zur Informationsschöpfung angewendet. Die Informationsebene steht mit der Datenhaltungsebene über

den SOS als Client in Kontakt. Die zentrale Geschäftslogik basiert dabei auf Algorithmen, Analyse- und Entscheidungsprozessen, die nach ingenieurgeologischem, geodätischem und elektrotechnischem Expertenwissen modelliert sind. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung logischer Kombinationsmuster und Ereignismatrizen, um Messergebnisse im Rahmen der Sensorfusion verschiedener Detektoren eindeutig auf vordefinierte Hangrutschungsereignisse anwenden zu können. Informationen sollen auf ihre Plausibilität geprüft, auf mögliche Fehlerquellen untersucht und auf potentielle Anwendungsszenarien projiziert werden. Die Speicherung und Archivierung erfolgt nach der Anreicherung mit Positionierungsinformationen in einem raumbezogenen Datenbanksystem. Für nachfolgende Visualisierungs- und Analysevorgänge kann die Informationshaltung ab diesem Punkt über die Dienste WFS (vektordatenbasierte Informationen), WCS (rasterdatenbasierte Informationen) und WMS (kartenbasierte Informationsprodukte) abgefragt werden. Darüber hinaus kann die Informationshaltungsebene als Client zu weiteren externen Informations- und Prozessierungsdiensten in Kontakt stehen. Unterstützende Informationsmittel wie regionale Niederschlagskarten können beispielsweise über einen WCS eingebunden werden. Externe Web Processing Services (WPS), wie z.B. der Web Coordinate Transformation Service (WCTS) zur Umrechnung von Lagebezugsinformationen, können zu einer flexiblen Erweiterung des Funktionsumfangs einbezogen werden.

Eine weitere Aufgabe der Informationsebene ist der Prozess der Informationsverteilung. Für diesen Zweck kommen Implementationen der Web Notification Services (WNS) zum Einsatz (Botts, 2006). Die WNS ermöglichen einen paketorientierten Dienst mit asynchroner Zustellung (Bsp.: Email oder SMS an Handy). Über die Nutzung eines generischen Nachrichtenprotokolls wie dem Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP) ist bei der Nutzung von multiplen Gateways die Zustellung von Benachrichtigungen über verschiedene Protokolle (HTTP, SMTP, Jabber, SMS) in verschiedene Kommunikationsnetze

(WWW, GSM) möglich (XMPP, 2008). WNS und Gateways erfüllen in ihrer Kombination somit die Aufgabe eines Protokollwandlers. An dieser Stelle ist auch ein direkter Informationsaustausch mit externen nationalen und internationalen Systemen realisierbar, denen unterschiedliche Kommunikationsprotokolle, wie z.B. das Common Alerting Protocol (CAP, siehe auch (OASIS, 2008)), zu Grunde liegen können.

Nutzerportal, Visualisierung und Recherche:

Ein Portal repräsentiert für Zielgruppen von Endnutzern und für externe Anwender den zentralen web-basierten Einstiegspunkt zur weiteren Beschaffung von Informationen. Portaldienste zur Nutzerauthentifizierung und -verwaltung stellen die oberste Schicht zur Interaktion dar und organisieren und verweisen auf weiterführende Visualisierungs- und Recherchefunktionen. Eine Visualisierungskomponente steht dabei über die Dienste WMS, WFS und WCS in direkter Verbindung mit der In-

formationshaltung. Die dadurch bereitgestellte Datengrundlage wird für den Nutzer durch eine Geschäftslogik, dem Vorkenntnisstand entsprechend, visuell aufbereitet und mit Aussagen über Situationsstatus und Handlungsbedarf verknüpft. Weitergehende optische Unterstützung kann durch die Verwendung dreidimensionaler Visualisierungsdienste wie dem Web Terrain Service (WTS) bzw. dem Web 3D Service (W3DS) unter Verwendung von Höheninformationen in Anspruch genommen werden. Der dargelegte Informationsinhalt kann, je nach Abstraktionsebene, von simplifizierten bildbasierten Aussagen bis zum Angebot eines kompletten WebGIS (Korduan/Zehner, 2008) reichen.

Ein weiterer Aspekt einer zentralen Portalanwendung liegt in der Einbeziehung von Nutzern als potentielle Informationsquelle. Nutzer in betroffenen Regionen sind durch inzwischen weit verbreitete Technologien wie Digitalkameras und GPS-Empfänger in der Lage, raumbezogene Beobachtungen in das Informationssystem einzubringen. ►

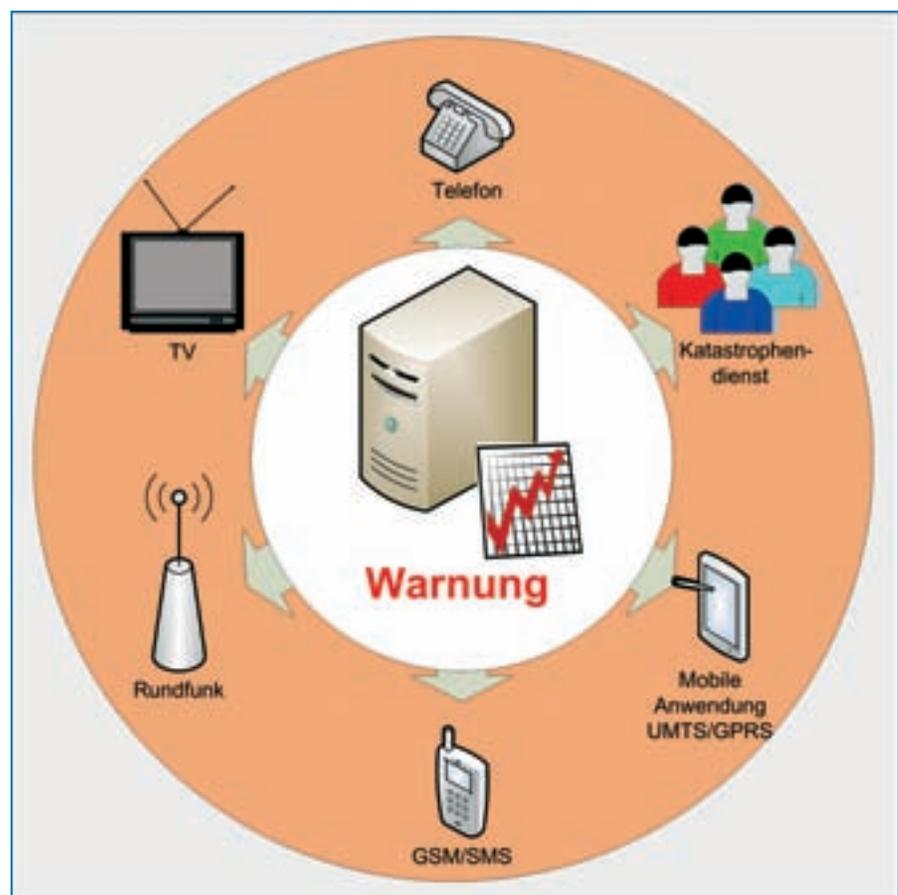


Abbildung 5: Vermittlung von Warnhinweisen in gängige Medienkanäle

Entwicklungen in dieser Richtung sind mit populären Begriffen wie „human sensor web“ (Ogle Earth, 2007), „Web 2.0“ (Wikipedia, 2008b) und „geotagging“ zu umschreiben (Wikipedia, 2008a). Vor Ort aufgezeichnete Medien können durch den Nutzer mit Positionierungsdaten versehen (geotagging) und weitergehend aufbereitet werden, um sie anschließend über die Plattform der Portalanwendung weiteren Nutzern zur Verfügung zu stellen. Dort werden sie über eine kartenbasierte Applikation angeboten und können als zusätzliche Informationen zur Unterstützung von Entscheidungsfindungen dienen.

Als semantischer Einstiegspunkt dient die Implementation eines Katalog- und Recherchedienstes nach der OGC CSW-Spezifikation. Der Katalog umfasst standardisierte Einträge aller in der GDI enthaltenen Sensoren, Datensätze und Diensteressourcen nach den internationalen Metadatenformaten ISO 19115 und ISO 19119. Eine Formalisierung dieser Art sichert die Auffindbarkeit über einen semantischen Kontext und ermöglicht den Einbezug der bereitgestellten Ressourcen in andere interoperable Informationssysteme. Standardisierte Schnittstellen erlauben die automatisierte Eingliederung des Katalogs in einen hierarchischen Verbund von Katalogsystemen. Aktueller Forschungsbedarf besteht in diesem Rahmen jedoch noch in der Erarbeitung von Konzepten, um sensorbezogene Metainformationen nach SensorML-Schema mit den genannten gängigen Metadatenformaten zu harmonisieren.

4.4 Alarmierung von Nutzern

Die flexible Skalierbarkeit der Benachrichtigungsdienste des Frühwarnsystems ermöglicht die situationsbedingte Informationsversorgung von Nutzern unterschiedlicher Zielgruppen aufgrund festgelegter Profile. Die Konzeption dieser Profile kann dabei theoretisch unabhängig von technischen Aspekten der Übertragungsmedien erfolgen. Die Verwendung generischer internetbasierter Standardprotokolle erübrigt den Einbezug spezifischer Nachrichtentechnologien bei der ursprünglichen Architektur. Der Einbezug adaptiver Gateways macht die Vermittlung von Informationen in alle gängigen Medienkanäle denkbar (siehe Abbildung 5).

Ein technisch orientiertes Benachrichtigungsprofil richtet sich zum Beispiel an Nutzer mit fundierten Kenntnissen aller Komponenten des Systems. An seinem Arbeitsplatz registriert sich ein Nutzer über einen Web Browser je nach Informationsbedarf bei den Benachrichtigungsdiensten. Ein definierbares Profil legt spezifische Benachrichtigungsoptionen fest, so zum Beispiel für die bei Fehlfunktionen von Sensor-Motes typischen Messwerte. Beim Auftreten eines solchen Ereignisses erhält die Person direkte Nachrichten über einen Text-Messenger (Jabber-Protokoll) oder über den Web Browser (HTTP-Protokoll). Sollte sich die Person nicht am Arbeitsplatz aufhalten, kann sie per Email zu einem versetzten Zeitpunkt informiert werden. Zur näheren Untersuchung des Problemfalls ist die Person nun in der Lage, separat auf die verschiedenen Datenquellen des Systems direkt zuzugreifen.

Ein alternatives Benachrichtigungsprofil wird für einen fachexternen Entscheidungsträger in dem von der Hangrutschung betroffenen Gebiet definiert. Dieser Nutzer ist bei den Diensten zur Benachrichtigung per Handy und Telefon bei auftretenden Spannungsfällen im instrumentierten Gebiet vermerkt. Eine Benachrichtigung soll in dem Fall übermittelt werden, wenn eine bestimmte Anzahl benachbarter Sensorknoten die gleiche Überschreitung spezifischer Messparameter anzeigen. Über eine mobile Applikation auf einem PDA oder Smartphone kann dieser anschließend über das Nutzerportal einen Überblick über die räumlichen Details des Ereignisses erhalten. Visuelle Hilfestellungen und explizite Hinweise sollen dabei helfen, die Situation des Ereignisses angemessen einschätzen zu können. Je nach Dringlichkeit können weitere, im Notfallprotokoll vermerkte Rettungsorgane mit Hinweisen versorgt werden.

5 Ausblick

SLEWS arbeitet an der Weiterentwicklung von Technologien und Methoden für den Einsatz von Beobachtungs- und Frühwarnsystemen bei Massenbewegungen. Der Einsatz von miniaturisierter und preisgünstiger Präzisionsensorik in Kombination mit einem selbstorganisierenden funkbasierten ad hoc-Netzwerk soll in Zukunft die Echtzeitbeobachtung

von Hangrutschungsereignissen bei einem positiven Aufwands-/Leistungsverhältnis wesentlich verbessern. Die Implementation einer modernen dienstebasierten Geodateninfrastruktur zur Modellierung eines Informationssystems soll Lücken und Medienbrüche in der Verarbeitungskette von Datensammlung bis zur Frühwarnung schließen. Noch während der Entwicklungszeit eines Systemprototyps sollen Aspekte praktischer Anwendungsszenarien in die Konzeption einbezogen werden. Hierbei muss vor allem der Aspekt eines Echtzeitanpruchs definiert und behandelt werden. Die Verwendung standardisierter schnittstellenoffener Technologien aus dem Bereich der räumlichen Informationsverarbeitung soll die zukünftige Integration in den Kontext nationaler und internationaler Frühwarnsysteme ermöglichen und vereinfachen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) der Bundesrepublik Deutschland für die Förderung im Rahmen des Verbundprojekts „SLEWS“ (FKZ: 03G0662A). Ein besonderer Dank gilt auch den Reviewern, die durch ihre hilfreichen Kritiken, Kommentare und dem damit verbundenen Zeitaufwand zur Verbesserung dieses Papers beitrugen. ■

AUTOREN

Bill, R.; Niemeyer, F.; Walter, K.
 Professur für Geodäsie und
 Geoinformatik, Universität Rostock (GGR),
 Email: ralf.bill@ / frank.niemeyer@ /
 kai.walter@uni-rostock.de

Literatur:

- Arnhardt, C.; Ash, K.; Azzam, R.; Bill, R.; Fernandez-Steeger, T. M.; Homfeld, S. D.; Kallash, A.; Niemeyer, F.; Ritter, H.; Toloczky, M.; Walter, K. (2007): Sensor based Landslide Early Warning System - SLEWS, Development of a geoservice infrastructure as basis for early warning systems for landslides by integration of real-time sensors. In: Koordinationsbüro GEOTECHNOLOGIEN: Science Report, Early Warning Systems in Earth Management. Potsdam: Vol. 10, S. 75 - 88
- Bauer, M. (2003): Vermessung und Ortung mit Satelliten / mit Beiträgen von Lambert Wanninger . 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag,
- Bill, R. (2008): Spatial data infrastructures for emergency services and security management. In: Gonca Coskun, H., Cigizoglu, H.K., Maktav, D.: Integration of Information for Environmental Security. Heidelberg : Springer, S. 247 - 259.
- Bill, R.; Cap, C.; Kofahl, M.; Mundt, T. (2004): Indoor and outdoor positioning in mobile environments - a review and some investigations on WLAN positioning. In: Geographic Information Sciences Volume 10, Nr. 2, S. 91 - 98
- Blankenbach, J.; Norrdine, A.; Schlemmer, H.; Willert, V. (2007): Indoor-Positionierung auf Basis von Ultra Wide Band. In: AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, S.169 - 178
- Born, A.; Reichenbach, F.; Bill, R.; Timmermann, D. (2008): Lokalisierung in ad hoc Geosensornetzwerken mittels geodätischer Ausgleichungstechnik. In: GIS - Zeitschrift für Geoinformatik 1/2008
- Botts, M. (2006): OGC White Paper - OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. Version 2.0. URL: <http://www.opengeospatial.org/pt/06-046r2> (rev.: 19.07.2006). OGC 06-050r2
- Capodiceci, P. (2007): Wireless Sensor Network with Self-Organisation. URL: <http://www.winsoc.org/summary.htm> (rev.: 2007) . Letzter Zugriff am 22.01.2008
- Donaubauer, A.; Kraut, V.; Leonhardt, A.; Schilcher, M. (2007): Kapselung von Simulationsmodellen durch Geo Web Services - Erfahrungen mit einem Echtzeitverkehrsmodell. In: GIS - Zeitschrift für Geoinformatik. 11, S. 22 - 27
- Havlik, D.; Schimak, G.; Denzer, R.; Stevenot, B. (2006): Introduction to SANY (Sensors Anywhere) Integrated Project. In: ENVIROINFO 2006, Shaker Verlag, Graz, S.541-546
- IMAGI (2006): Geoinformation und moderner Staat. 4. Auflage. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main,
- Jäger, R. (2008): GOCA - GNSS/LPS/LS-based online Control and Alarm System. URL: http://www.goca.info/index_de.html (rev.: 01.01.2008) . Letzter Zugriff am 17.01.2008
- Kahmen, H. (2006): Vermessungskunde. 20. völlig neu bearb. Aufl., Berlin: Walter de Gruyter.
- Korduan, P.; Zehner M. (2008): Geoinformation im Internet. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag,
- Luhmann, T. (2003): Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 2. überarb. Aufl. Heidelberg: Wichmann Verlag,
- Nebert, D.D. et.al. (2004): Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook. Version 2.0. URL: <http://www.gsdi.org/publications.asp> (rev.: 25.01.2004). Letzter Zugriff 25.02.2008
- OASIS (2008): Organization for the Advancement of Structured Information Standards. URL: <http://www.oasis-open.org/home/index.php>. Letzter Zugriff am 26.02.2008
- Ogle Earth (2007): Weblog Ogle Earth: Coming up next: The human sensor web. URL: http://www.ogleearth.com/2007/07/coming_up_next.html (rev.: 27.07.2007). Letzter Zugriff am 29.01.2008
- Percivall, G. (2007): OGC Web Services Demonstrations. URL: <http://www.opengeospatial.org/resource/demos> (rev.: 27.03.2007). Letzter Zugriff am 29.01.2008
- Reichenbach, F. (2007): Ressourcensparende Algorithmen zur exakten Lokalisierung in drahtlosen Sensornetzwerken. Dissertationsschrift, Universität Rostock.
- Retscher, G.; Moser, E. (2007): Genauigkeits- und Leistungstest eines WLAN-Indoor Positionierungssystems. In: zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement 132. Jahrgang, S. 4 - 10
- Sheth, A.; Tejaswi, K.; Mehta, P.; Parekh, C.; Bansal, R.; Merchant, S.; Singh, T.; Desai, U.B.; Thekkath, C.A.; Toyama, K. (2005): SenSlide - A Sensor Network Based Landslide Prediction System. In: SenSys'05.
- Shiotani, T.; Miwa, S.; Ohtsu, M.; Ikeda, K. (2000): Development of AE waveguide for rock failure monitoring, Progress in Acoustic Emission X. In: The Japanese Society for Non-Destructive Inspection, S. 85 - 90
- Terzis, A.; Anandarajah, A.; Wang, I.-J.; Moore, K. (2006): Slip Surface Localization in Wireless Sensor Networks for Landslide Prediction. In: IPSN 2006 (2006), <http://www.cs.jhu.edu/~terzis/landslide-camera.pdf>
- Varnes, D.J. (1978): Slope Movement Types and Processes.- In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 11-33
- Weiser, A.; Neis, P.; Zipf, A. (2006): Orchestrierung von OGC Web Diensten im Katastrophenmanagement am Beispiel eines Emergency Route Service auf der Basis der OpenLS Spezifikation. In: GIS - Zeitschrift für Geoinformatik. Heft 9, S. 35 - 41
- Wikipedia (2008a): Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>. Artikel „Geokodierung“ (rev.: 17.01.2008). Letzter Zugriff am 29.01.2008
- Wikipedia (2008b): Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>. Artikel „Web 2.0“ (rev.: 26.01.2008). Letzter Zugriff am 29.01.2008
- Wikipedia (2008c): Wikipedia - Die freie Enzyklopädie. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>. Artikel „Schwarminelligenz“ (rev.: 22.01.2008). Letzter Zugriff am 29.01.2008
- XMPP (2008): XMPP Standards Foundation. URL: <http://www.xmpp.org/> (rev.: 01.02.2008). Letzter Zugriff am 01.02.2008