

# Zur Hangüberwachung mit innovativen, vernetzten Mess- und Auswertesystemen am Beispiel des geodätisch-geophysikalischen Monitorings im Gebiet des 3-Schluchten Staudamms in China

Slope monitoring with innovative measurement and analysis systems – an example from the geodetic-geophysical monitoring in the Three Gorges Dam area in China

Karsten Zimmermann<sup>1</sup>, Paul Althaus<sup>1</sup>, Helmut Bock<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Karsten Zimmermann, DMT GmbH & Co. KG, karsten.zimmermann@dmr.de

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Paul Althaus, DMT GmbH & Co. KG, paul.althaus@dmr.de

<sup>1</sup> Prof. Dr.-Ing. Helmut Bock, Q+S Consult, qs-consult@t-online.de

## Zusammenfassung

Die Überwachung der Stabilität von Hängen und Böschungen hat in der Bau- und Bergbauindustrie eine erhebliche Bedeutung. Die Anforderungen haben nicht zuletzt aufgrund einer gesteigerten Umweltsensibilität und den hohen Sicherheitsanforderungen deutlich zugenommen. Unternehmen überwachen ihre Bauvorhaben, um Schadenspotenziale frühzeitig zu erkennen, den Schadensumfang zu minimieren und um rechtzeitige Vorsorge für Schadensfälle treffen zu können. Um die von Hangbewegungen ausgehenden Georisiken zu spezifizieren und entsprechende Präventionsmaßnahmen zum Schutz vor Schäden zu ergreifen, sind umfangreiche Untersuchungen, z.B. zur Geologie und Hydrogeologie der betroffenen Gebiete nötig. Darüber hinaus besteht die Notwendigkeit zur Realisierung leistungsfähiger Überwachungskonzepte basierend auf geodätischen und geophysikalischen Messdaten. Wesentliche Anforderungen an solche Konzepte sind die möglichst frühzeitige Erkennung nachteiliger Veränderungen, eine kontinuierlicher Datenverfügbarkeit in Echtzeit, unverzüglicher Alarm bei Grenzwertüberschreitung und nicht zuletzt die Wirtschaftlichkeit. Im nachfolgenden Beitrag wird ein Überblick über mögliche Überwachungsmethoden gegeben. Anhand von Praxisbeispielen aus Industrie und Forschung (DMT Monitoringprojekt in Sotchi, BMBF Projekt Yangtze-Geo 2) werden aktuelle Entwicklungen zu integrierten Online-Monitoring-Systemen vorgestellt.

**Schlüsselworte:** Geomonitoring, Hangrutschung, Überwachung

## Abstract

The monitoring of slope stability and embankments is highly significant in the construction and mining industry. The requirements have recently even increased due to rising environmental awareness and higher safety requirements. Companies monitor their geo-projects to observe the damage potential at an early stage in order to minimize the extent of damage and to take early precautionary measures for potential damage scenarios (?). To specify the landslide geohazard and to take appropriate preventive measures against damages, extensive investigations, e.g. in fields of geology and hydrogeology of affected areas are necessary. Furthermore, efficient monitoring approaches based on geodetic and geophysical data have to be implemented. Essential requirements for such monitoring concepts are an early recognition of hazardous changes, continuous data availability in real time, immediate alarm when limits are exceeded and economical feasibility. The following document provides an overview of possible monitoring methods. Using practical examples from industry and research (DMT monitoring project in Sochi, BMBF project Yangtze Geo 2) current developments of integrated on-line monitoring systems are presented.

**Keywords:** geomonitoring, landslide, measurement

## 1 Einleitung

Um die von Hangrutschungen ausgehenden Georisiken zu spezifizieren und entsprechende Präventionsmaßnahmen zum Schutz vor Schäden zu ergreifen, sind umfangreiche Untersuchungen, z.B. zur Morphologie, Topographie, Geologie und Hydrogeologie der betroffenen Gebiete nötig. Bei potentiellen Risikogebieten ist eine Überwachung des Verlaufs der Boden- und Erd[Boden und Erd?]-bewegung notwendig, um eine Einschätzung des Bewegungsverhaltens und dessen Ursachen zu ermöglichen. Insbesondere bei Hangrutschungsflächen in besiedelten Gebieten kann ein

Echtzeit-Monitoring mit unterschiedlichster Messtechnik notwendig sein, um durch automatische Alarmierung auf eine plötzlich eintretende Ausbreitung des Rutschungsreiches hinzuweisen.

Dieser Artikel beschreibt den Umgang mit Georisiken im Allgemeinen, die notwendigen Voruntersuchung von Gefahrenbereichen bei Hangrutschungen und stellt darüber hinaus konkrete Messverfahren und Methoden zur Überwachung von Hängen vor. Dabei werden die Erkenntnisse aus konkreten Projekten der DMT GmbH & Co. KG (DMT) in Sotchi und im Gebiet des Drei-Schluchten-Stausees in China eingearbeitet.



## 2 Umgang mit Georisiken

Als methodische Vorgehensweise zur Behandlung von Georisiken hat sich allgemein ein mehrstufiger Maßnahmenplan etabliert (Kümpel et al. (2011)).

Dieser besteht aus:

- **Gefahrenidentifikation:** Recherche, Auswertung vorliegender Beobachtungen und Unterlagen, Erkundung, geologische, geodätische und geophysikalische Erkundung und Abgrenzung, Geomonitoring: Beobachtung von Einflussfaktoren und zeitveränderlicher Prozesse, Modellierung der räumlich-zeitlichen Veränderungen, Bewertung der Gefährdung und der Eintrittswahrscheinlichkeit
- **Schadenpotentialanalyse:** Bestimmung des möglichen Schadensausmaßes, Bedrohung für den Menschen in den betroffenen Gebieten, Bedrohung für Sachwerte in den betroffenen Gebieten
- **Risikoanalyse:** Quantifizierung und Bewertung des Risikos, Risiko = Schadensausmaß \* Eintrittswahrscheinlichkeit, Maßnahmenevaluierung für den Umgang mit dem Risiko

Das Geomonitoring nimmt hierbei in allen Bereichen einen weiten Raum ein, da es nicht nur an sich einen Beitrag zur Beobachtung von Gefahrenbereichen darstellt, sondern im Rahmen des Risikomanagements beispielsweise auch als Maßnahme zur Früherkennung, Alarmierung, Sicherung und Überprüfung dient (vgl. Abb. 1). Hierbei setzt das Geomonitoring nicht zwangsläufig eine messtechnische Lösung voraus. Auch die systematische Erfassung, Zuordnung und Bewertung von Meldungen aus der Bevölkerung, von Betriebsangehörigen oder von Wachdiensten kann als Geomonitoring aufgefasst werden. Vielfach unterliegen Georisiken Veränderungen in ihrem Ausmaß, ihrer Lage und in ihrer zeitlichen Entwicklung. Jede Veränderung der aktuellen Situation setzte eine aktualisierte mehrstufige Bewertung nach obigem Schema in Gang, zumeist basierend auf dem Geomonitoring.

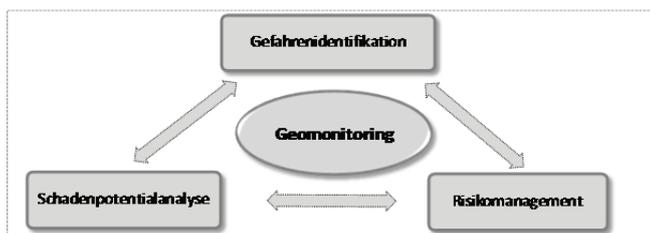


Abb. 1: Geomonitoring als integraler Bestandteil des Umgangs mit Georisiken, modifiziert nach Zimmermann et al. (2012)

Um die von den Hangrutschungen ausgehenden Georisiken zu spezifizieren und entsprechende Präventionsmaßnahmen zum Schutz vor Schäden zu ergreifen, sind in einer Voruntersuchung (Identifizierungsphase) z.B. geodätische, geophysikalische, geologische und geotechnische Untersuchungen und historische Analysen über die betroffenen Gebiete nötig. Im Folgenden wird dazu nach Bock (2012) kurz eine Untersuchung an Hängen entlang einer Bahntrasse im Raum Sotchi dargestellt.

## 3 Voruntersuchung der Gefahrenbereiche

Im Rahmen der Identifizierung von Gefahrenbereichen ist neben der historischen Analyse und der geodätischen, geotechnischen, geologischen und hydrogeologischen Analyse in der Regel eine messtechnische Erkundung und Quantifizierung der Gefahrenbereiche notwendig. Hierbei kommen je nach Fragestellung unterschiedliche geodätische und geophysikalische Verfahren zum Einsatz.

Eine wichtige Grundlage zur Beantwortung der Frage nach der aktuellen Gefährdung durch eventuelle Massenbewegungen in Hanggebieten ist darüber hinaus üblicherweise eine detaillierte ingenieurgeologische Kartierung mit Aufschlussbohrungen. In Bock (2012) werden hierzu entsprechende Ausführungen gemacht, die sich auf ein Bauprojekt im Raum Sotchi (Russland) beziehen, wo aus Anlass der olympischen Winterspiele 2014 zurzeit umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen vorgenommen werden. Es werden dort u.a. Zubringer vom Schwarzen Meer zu den Austragungsorten der alpinen Wettbewerbe geplant und gebaut.

Auf Grund ihrer topographischen, geographischen und geologischen Lage sind die in Sotchi vorgesehenen Trassen im erheblichen Maße Georisiken ausgesetzt, vornehmlich Hochwässern, Erdbeben und Hanginstabilitäten. Die örtlichen Gesteinsserien werden von wechselnd mächtigen Lockergesteinen überdeckt. Inwieweit diese Lockergesteinsschichten Zeugen ehemaliger oder aber noch andauernder Bewegungen sind (und damit eine aktuelle Gefährdung der Trassen darstellen), ist Gegenstand der geologischen Untersuchungen zu den Hangbewegungen und damit zum Georisiko in Sotchi.

Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Geländeaufnahmen wurden in Kenntnis der zahlreichen Ausprägungen, die bei Massenbewegungen von Hängen als typisch anzusehen sind, vorgenommen. Abbildung 2 zeigt die Klassifikation von Massenbewegungen nach Nemčok et al. (1972). Die Klassifizierung besteht aus 21 Bewegungstypen die in folgende vier generelle Mechanismen eingeordnet werden: „Kriechen“, „Gleiten“, „Fließen“ und „Fallen“. Eine ähnliche Klassifikation wurde auch vom British Geological Survey (BGS) erstellt. Die Hänge im Untersuchungsgebiet erstrecken sich über Höhenunterschiede, die an alpine Dimensionen heranreichen. Im alpinen Bereich können tiefgreifende und komplexe Hangdeformationen auftreten, die mit den Begriffen „Bergzerreißung“, „Sackung“ und „Talzuschub“ verbunden sind (Abbildung 3).

Untersuchungen zur Abgrenzung zwischen Locker- und Festgesteinen können, wie im Projekt in Sotchi, durch seismische Untersuchungen und eine Vielzahl weiterer Daten, wie z.B. topografischer Daten und geologisch-geotechnischer Kartierungsarbeiten vorgenommen werden, welche über GIS- und Modellierungsprogramme zu einem konsistenten Datensatz zusammengeführt und integrativ betrachtet werden sollten. Daraus können z.B. Karten über die Lage und Mächtigkeit der Rutschkörper sowie dessen Volumen erstellt werden. Insbesondere die seismischen Untersuchungen konnten in Sotchi die Tiefenerstreckung, Abgrenzung und Feingliederung von Rutschkörpern detailreich erfassen.

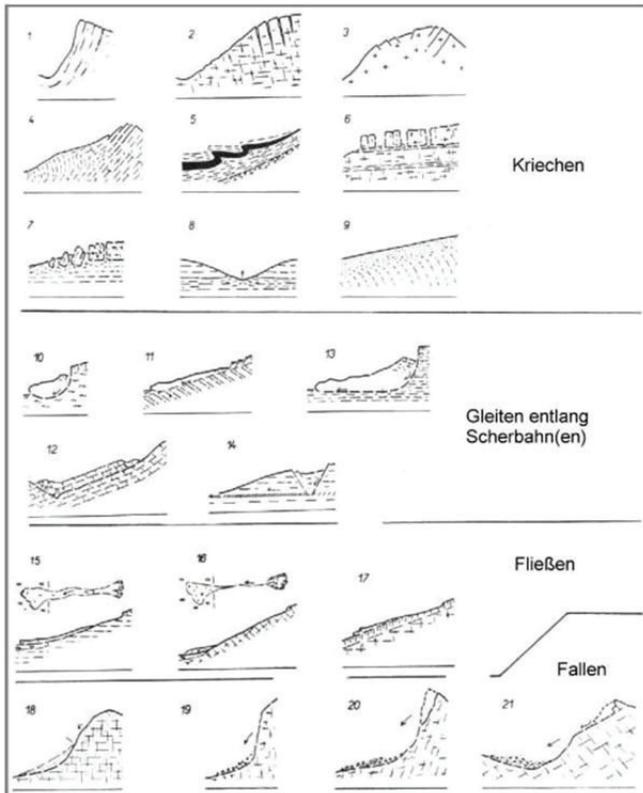


Abb. 2: Klassifikation von Massenbewegungen nach Nemčok et al. (1972)

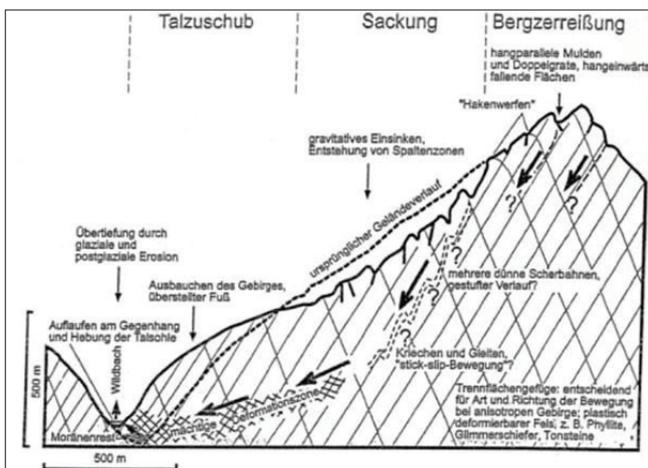


Abb. 3: Kennzeichen einer großflächigen und tiefgreifenden Hangdeformation nach Moser und Weidner (2000)

Insgesamt sind allgemein durch die Maßnahmen der Gefahrenidentifikation folgende Kenntnisse zu erlangen:

- Identifizierung des geotechnischen Problems (Beschreibung und Abgrenzung der Gefahrenbereiche)
- Aufstellen von Hypothesen und Modellvorstellungen über mögliche und wahrscheinliche Versagensmechanismen (z.B. oberflächliche und tiefgründige Mechanismen)

Auf Grundlage der Ergebnisse kann dann, sofern die Existenz anhaltender Massenbewegungen nachgewiesen wurde oder nicht ausgeschlossen werden kann, eine Ableitung

notwendiger Monitoringmassnahmen (z.B. eine geodätische Hangrutschungsüberwachung) erfolgen. Dabei kann insbesondere bei Gefahrenstellen in besiedelten Gebieten ein Echtzeit-Monitoring mit geeigneter Messtechnik notwendig werden, um durch automatische Alarmierung auf eine plötzlich eintretende Ausbreitung der Hangrutschungs- oder Schadensstelle hinzuweisen. Die folgenden Abschnitte stellen mögliche Messverfahren sowie die Verarbeitung der Messdaten kurz vor.

#### 4 Monitoring von Hängen und Böschungen

Bei der Überwachung von Hangrutschungen stellt sich zunächst die Frage nach geeigneten Verfahren zur Messung und Dokumentation von Bodenbewegungen (u.a. Benecke et al. 2011; Althaus et al. 2009) welche in der Lage sind, die charakteristisch auftretenden Bewegungen zu erfassen. Wie in Abschnitt 3 schematisch dargestellt, treten im Falle von Hangrutschungen komplexe Deformationen der Oberfläche und des Untergrundes auf, die eine angepasste Überwachungsmethodik notwendig macht. Diese dient zur:

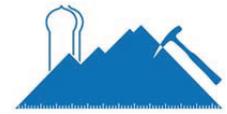
- Überwachung der Tagesoberfläche auf Veränderungen
- Überwachung von Veränderungen entlang von Bohrungen
- Robuste Überwachung von Veränderungen in größeren Tiefen
- Überwachung von seismischen Signalen aus dem Umfeld und dem Gefahrenbereich
- Vernetzung aller Verfahren zu einem automatisierten Überwachungssystem

##### 4.1 Messverfahren

Zur Überwachung von Hangbewegungen kommen üblicherweise folgende Messverfahren und Systeme in Frage:

- Geodätisches Monitoring mit Tachymetrie und Nivellement
- Terrestrisches Laserscanning
- Terrestrische Radarinterferometrie zur flächenhaften Messung von Hangbewegungen in Echtzeit
- Satellitengestützte Radarinterferometrie
- GNSS- Messungen zur Messung von Punktbewegungen
- Inklinometermessungen
- Messungen mit Extensometer im Bohrloch
- Piezometermessungen
- Messung meteorologischer Daten (insb. Niederschlag)
- Mikroseismik
- Aufzeichnungen mittels Videokamera (zur Überwachung von Veränderungen an der Oberfläche)

Beim Einsatz dieser Verfahren sind deren spezifisch Eigenschaften und Ergebnischarakter zu beachten. Beispielsweise können durch Messungen mit Tachymeter oder Bohrlochextensometer nur die Veränderungen direkt am Sensorelement



aufgezeichnet werden. Um darüber hinaus von einer Sensorposition in die Umgebung zu ‚horchen‘ bieten sich mikro-seismische Messungen an.

Mikroseismische Messungen zur Hangüberwachung werden von DMT im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes YANGTZE GEO (2012 - 2015) im Gebiet des Dreischluchten-Stausees in China durchgeführt.

Hintergrund für die Untersuchungen in diesem Projekt sind gravierende Instabilitäten der Uferhänge am Yangtze (vgl. Abbildung 4). Diese werden insbesondere durch starke Schwankungen des Wasserstandes destabilisiert, was in einigen Gebieten drastischen Auswirkungen, wie beispielsweise die Umsiedlung ganzer Städte, nach sich zieht. In einem deutsch-chinesischen Konsortium von Wissenschaftlern untersucht die DMT im speziellen die Gefahrenidentifikation und den Einsatz verschiedener Geomonitoringsysteme. Die vor Ort installierte komplexe Messtechnik besteht dabei aus hochempfindlichen Seismographen zur Messung der Mikroseismizität sowie einem terrestrischen Radarinterferometer. Mit beiden Verfahren werden Veränderungen an der Hangoberfläche sowie im tieferen Untergrund beobachtet und analysiert.



Abb. 4: Typischer Uferhang mit Bebauung am Yangtze - China

Durch die mikro-seismischen Messungen mittels eines Messnetzes aus mehreren Geophon-Bohrlochsonden können seismische Emissionen, induziert durch mechanische Vorgänge bei Bewegungen im Untergrund, hochgenau erfasst werden. Die Empfindlichkeit der Sensoren liegt 1000-fach unter der menschlichen Wahrnehmungsschwelle. Im Zusammenhang mit modernsten Auswerteeinheiten mit geringen Signal-Rausch-Verhältnis können so auch sehr kleine Signale, die am Geophon nur eine Bodengeschwindigkeit von  $0,1 \mu\text{m/s}$  vorweisen, registriert werden (Fritschen et al. 2007; siehe auch Abbildung 5).

Zudem werden auch alle sonstigen dynamischen Einflüsse bestimmt, die durch externe Quellen, wie beispielsweise Fernbeben oder anthropogenen seismischen Noise, auf den Untersuchungsbereich einwirken. Seismoakustische Signale treten genau dann auf, wenn sich durch mechanische Vorgänge etwas im Untergrund ändert, was zur Emission seismischer Wellen führen kann. Die Auswertung erfolgt daher nicht nur über einen Vorher/Nachher Vergleich, sondern ermöglicht über eine Korrelation mit Zeitreihendaten, wie beispielsweise Regen- oder Temperaturverläufe, eine direkte Zuordnung von Untergrundveränderungen zu den Prozessen, die diese verursachen. Als Besonderheit bei diesem

Messfall ist hervorzuheben, dass der Rutschhang von der Berginnenseite aus mit einem Erkundungstunnel zugänglich ist und so die Beobachtungssensoren im Festgestein unterhalb der rutschenden Massen und in seismisch ruhiger Umgebung installiert werden können.

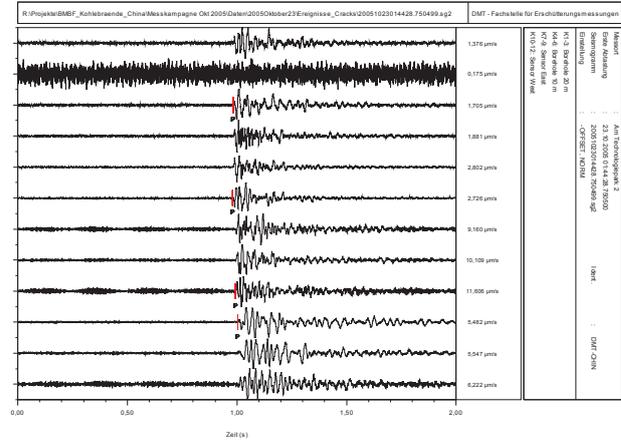


Abb. 5: Registrierung eines mikro-seismischen Ereignisses nach Fritschen et al. (2007) könnten Sie hier kein aktuelleres Beispiel plotten was näher am tatsächlich beschriebenen Fall ist Felslabor Badong? – Zahlen an der Gaphik sind kaum lesbar.

Auf der Basis genauer Standortuntersuchungen wird am Yangtze ein hochempfindliches lokalseismologischen Messnetz aus Bohrloch- und Oberflächensensoren aufgebaut und über einen Zeitraum von etwa 2 Jahren betrieben. Alle Daten werden dabei automatisiert erfasst, über Mobilfunknetz und Internet in eine Datenbank übertragen, gesichert und anschließend zur Auswertung aufbereitet.

Zur flächenhaften Erfassung größerer Bereiche einer Hangoberfläche steht seit einiger Zeit als neues, innovatives Messverfahren, die terrestrische Radarinterferometrie, zur Verfügung (Farina (2010)). Bei der terrestrischen Radarinterferometrie werden elektromagnetische Wellen von einem auf der Erdoberfläche stationär installierten Sendergerät (Abbildung 7) ausgestrahlt und die vom Objekt zurückgeworfenen Reflektionen von einer entsprechenden Empfangseinheit aufgenommen. Mit den aufgenommenen Radarbildern können unter Nutzung von hochentwickelten Auswerteverfahren, wie z.B. dem Data-Stacking oder dem PSI-Verfahren, Bewegungen eines Objektes genau erfasst und dargestellt werden. Die am Markt verfügbaren Messsysteme ermöglichen im Allgemeinen eine berührungslose, kontinuierliche und flächenhafte Messung von Bewegungen, unabhängig von Tageszeit und Wetter. Das vom Instrument erfasste Bild des Objektes hat, in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Messinstrument und Objekt, eine hohe räumliche Auflösung (Abbildung 6).

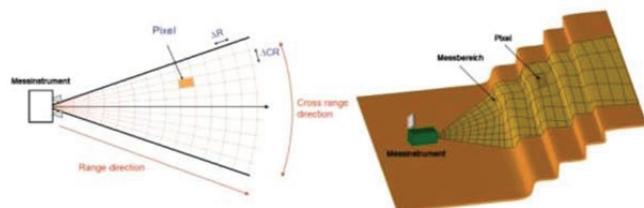


Abb. 6: Messbereich und räumliche Auflösung nach IDS (2013)

Die einzelnen Bildpixel haben eine Fläche von nur wenigen Quadratmetern. Zudem ist die Genauigkeit der Messung außerordentlich hoch und liegt unter optimalen Bedingungen im Submillimeterbereich.

Die Einsatzbereiche der terrestrischen Radarinterferometrie zur Messung von Bodenbewegungen sind sehr vielfältig (Wiesmann et al. 2008). Insbesondere bietet sich die Technik aber zur Überwachung von Böschungen an. Durch den Einsatz im Rahmen des Yangtze-Projekts ab Mitte 2013 werden ausgewählte Hangbereiche flächenhaft vermessen und Veränderungen der Hanggeometrie bis in den Millimeterbereich erfasst. Die gemessenen Änderungen der Hanggeometrie sollen zu Rückschlüssen insb. auf die Einwirkungen der Stauhöhenänderung, den geologischen Hangaufbau sowie mögliche Gefahrenpotenziale führen. Die Konfiguration des vor Ort eingesetzten Messsystems wird dabei fortlaufend auf die spezifischen Anforderungen während des Projekts optimiert.



Abb. 7: Installierte Messeinheit eines Radarsystems (System IBIS-M) zur Aufnahme einer Tagebauböschung nach Farina (2010)

Die bisher von DMT in Deutschland durchgeführten Messungen wurden u.a. wegen der gestiegenen Anforderungen zur Überwachung der Böschungstabilität in Tagebauen durchgeführt. Bei den Messungen wurden die Bewegungen von Tagebauböschungen über einen Zeitraum von wenigen Tagen beobachtet. Die Messergebnisse zeigen in einigen Hangbereichen schon nach kurzer Zeit deutliche Bewegungen von mehreren Dezimetern (Abb. 8, links). Die Bereiche können über eine geologische und geotechnische Bewertung der Stabilität in verschiedene Risikoklassen eingeteilt werden um dann entsprechende Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen (Abb. 8, rechts).

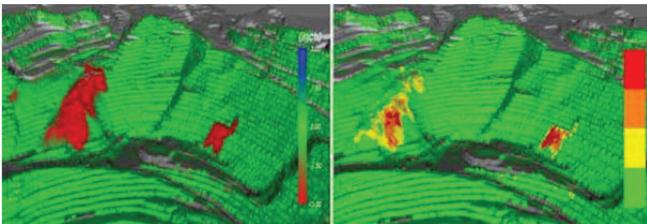


Abb. 8: Visualisierung von gemessenen Böschungsbewegung (links) und Einteilung des Böschungsgebietes in entsprechende Risikoklassen (rechts) nach Farina (2010)

Letztendlich zeigen die Projektergebnisse, dass ein großer Hangbereich aus Entfernungen bis zu 4 km mit dem Messsystem berührungslos überwacht werden kann. Die bisherigen Ergebnisse im Tagebau zeigen jedoch auch, dass die Vegetation einen erheblichen Störfaktor für die Radarmessungen darstellt. Insbesondere der Bewuchs auf den Böschungen und die dadurch fälschlich gemessenen Bodenbewegungen zeigen, dass z.B. noch effektive Methoden zur Datenfilterung entwickelt werden müssen.

## 4.2 Auswertung der Messdaten

Bei einem kombinierten Einsatz der in Abschnitt 4.1 dargestellten Messverfahren werden große Mengen an unterschiedlichsten Daten ausgenommen. Zu diesen gehören:

- Permanent erfasste, ungetriggerte Daten (z.B. Radarinterferometer, Extensometer)
- Getriggerte, hochfrequente Daten (z.B. Seismogramme aus mikroseismischer Messung)
- Rasterdaten (Bild- und Videoaufnahmen)

Wie u.a. in Zimmermann et al. (2012) aufgezeigt, ist für deren Handhabung und Analyse eine umfassende Hard- und Softwarelösung nötig, welche alle aufkommenden Daten speichert und für eine gemeinsame Nutzung zugänglich macht. Ein solches System bietet DMT-Safeguard.

DMT-Safeguard ist eine moderne umfassende datenbankbasierte Softwarelösung für Überwachungsaufgaben in der Geotechnik, Geodäsie, Hydrogeologie und Geophysik. DMT-Safeguard verarbeitet elektronische Messdaten aller Sensorarten in nur einem Überwachungssystem und ermöglicht so den potentiellen Gefahrenbereich eines Erdfalls, im Rahmen eines professionellen Risikomanagements permanent zu überwachen. Ein ausgeklügeltes Frühwarn-, Alarm- und Meldesystem erlaubt schnellste Reaktionen, die Langzeitüberwachung ermöglicht die frühe Erkennung potentiell gefährlicher Trends für eine gezielte Gefahrenprävention? [es geht nicht nur um Abwehr sondern auch um Information unabwendbarer Fälle].

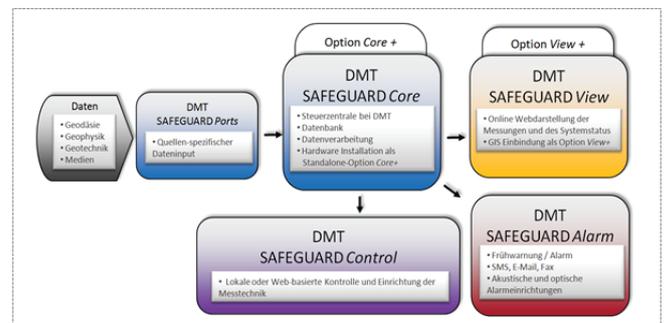


Abb. 1: Illustration der Datenverarbeitung mit dem System DMT-Safeguard

Die Besonderheit dieser Lösung liegt in der herstellerunabhängigen Hardwareanbindung von ‚langsamen‘ Messreihen der Geotechnik bis zu ‚schnellen‘ Messreihen der Akustik und der Videotechnik. Ebenfalls integriert sind ein Dokumentenmanagement und ein Journal zur Beweissicherung aller Maßnahmen und Vorfälle. Dabei erfolgt je nach Ausbaustufe eine konsequente datenbankbasierte Verarbeitung aller Messdaten und Dokumente, frei konfigurierbare Meldungen und ein internetbasierter Zugriff auf das System im Rahmen einer GIS-Applikation.

## 5 Fazit

Die Überwachung der Stabilität von Hängen und Böschungen hat in der Bau- und Bergbauindustrie, nicht zuletzt aufgrund einer gesteigerten Umweltsensibilität und den hohen Sicherheitsanforderungen eine erhebliche Bedeutung um Schadenspotenziale frühzeitig zu erkennen, den Scha-



denumfang zu minimieren und um rechtzeitige Vorsorge für Schadensfälle zu treffen.

Im Rahmen der Behandlung des Georisikos der Hangrutschung nimmt das Geomonitoring einen weiten Raum ein, da es nicht nur an sich einen Beitrag zur Beobachtung von Gefahrenbereichen darstellt, sondern im Rahmen des Risikomanagements auch als Maßnahme zur Früherkennung, Alarmierung, Sicherung und Überprüfung dient und somit einen wichtigen zentralen Beitrag zum Schutz des Menschen und seiner Sachgüter liefert.

Allgemein und an Praxisbeispielen wurde ausgehend von der prinzipiellen Vorgehensweise zur Behandlung von Georisiken konkrete messtechnischer Vorschläge zur Überwachung dargestellt. Neue Technologien, die in der Lage sind große Bereiche flächenhaft zu überwachen, z.B. die terrestrische Radarinterferometrie, werden als adäquate Lösung für Überwachungsaufgaben zunehmend praxistauglich und eröffnen damit neue Möglichkeiten im Monitoring von Bodenbewegungen. Darüber hinaus wurde auf die vielversprechende Mikroseismik eingegangen. Verbunden werden alle Elemente eines modernen Geomonitoringsystems durch eine leistungsfähige hardwareunabhängige Softwarelösung - wie DMT-Safeguard – die die aktuellen Erwartungen an Überwachung, Dokumentation und Zugriff erfüllt.

## Literatur

- ALTHAUS, P.; BENECKE, N. & LEPIQUE, M. (2009): Messung und Dokumentation von Bodenbewegungen im Zusammenhang mit Baumaßnahmen. – Veröff. 10. Kölner Kanal- und Kläranlagen Kolloquium, Köln
- BENECKE, N.; LÜTTMANN, A. & ZIMMERMANN, K. (2011): Innovative Konzepte zur Überwachung von Bodenbewegungen. – Veröff. 12. Geokinematischer Tag, TU Bergakademie Freiberg
- BOCK, H. & ET AL. (2012): Georisiko Hanginstabilität beim Neubau einer 48,2 km langen Schnellbahnlinie für die olympischen Winterspiele 2014 in Sotschi, Russland. – Veröff. 32. Baugrundtagung in Mainz, S. 275-280, Essen (DGGT)
- FARINA, P.: (2010): An innovative solution for slope monitoring within open-pit mines, IDS Firmen- und Produktpräsentation, 2010
- FRITSCHEN, R.; ZIMMERMANN K.; ALTHAUS P. & GIELISCH H. (2007): Lokalisation von Kohlebränden durch mikroseismische Messungen, Russland. – Veröff. 8. Geokinematischer Tag, TU Bergakademie Freiberg
- IDS (2013): Webseite - <http://www.idsgeoradar.com/>; 10.01.2013
- KÜMPEL, H.-J.; BALZER, D & KÜHN, F. (2011): Verminderung von Georisiken durch Geomonitoring. – Veröff. Tagung Geomonitoring, TU Clausthal
- NEMČOK, A.; PAŠEK, J. & RYBÁŘ, J. (1972): Classification of of landslides and other mass movements. – Zeitschrift Rock Mech., S. 71-78
- WEIDNER, S. & MOSER, M. (2000): Der Bewegungsverlauf tiefgreifender Hangdeformationen. – Band Geoforum Umhausen, Tirol
- WIESMANN, A.; WERNER, C.; STROZZI, T. & WEGMÜLLER, U. (2008): Measuring deformation and topography with a portable radar interferometer, 13th FIG Symposium on Deformation Measurements and Analysis, Lisabon
- ZIMMERMANN, K.; ALTHAUS, P. & VÖLKER, R (2012): Die Online-Überwachung von Erdfällen und Tagesbrüchen. – Veröff. 13. Geokinematischer Tag, TU Bergakademie Freiberg
- ZIMMERMANN, K. & LÜTTMANN, A. (2011): Der Einsatz der terrestrischen Radarinterferometrie im Bergbau. – Veröff. Tagung Energie und Rohstoffe, Freiberg