



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

RISIKOABSCHÄTZUNG VON HANGBEWEGUNGEN UND SCHUTZKONZEPTE

Edmund Krauter, Johannes Feuerbach und Manuel Lauterbach¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die nach den Rutschungs- und Felssturzereignissen in den letzten drei Jahren erfolgten Risikoabschätzungen mit Hilfe visueller und messtechnischer Methoden sowie die darauf basierende Entwicklung von Schutzkonzepten und deren Realisierung werden an Fallbeispielen aus dem Mittelgebirgsraum in SW-Deutschland vorgestellt.

An Bahnstrecken erfolgten die ersten Abschätzungen durch Hubschrauberbefliegungen und an Straßen mit herkömmlichen Geländeuntersuchungen, wobei in den Steillagen Durchsteigungen erforderlichlich waren.

Bei den eingesetzten messtechnischen Schutzmaßnahmen zur Frühwarnung handelt es sich in zwei Fällen um erstmalig in Deutschland angewendete Methoden. Die bis jetzt gemachten Erfahrungen mit diesen Messmethoden werden diskutiert.

Es zeigt sich, dass eine realistische Risikoabschätzung nur mittels permanenter Messmethoden und einer Korrelation dieser Messergebnisse mit den Daten ebenfalls permanent ermittelter Ursachenfaktoren möglich ist. Die Basis ist Expertenwissen.

Abschließend wird ein neuentwickeltes Messverfahren zur Erkundung von Rutscharealen mit passiven elektromagnetischen Impulsmessungen beschrieben.

Key words: Rutschungen, Risiko, Schutzmassnahmen, automatische Messtechniken, Alarmeinrichtungen, Frühwarnung, passive elektromagnetische Erkundungsmethode

ABSTRACT

Risk assessments with the help of visual and measuring methods as well as the development of protection concepts and their carrying out will be shown with case studies from the low mountain range area in SW-Germany.

The increasing number of landslide occurrences in the last three years leads to these measures.

The first step of risk assessment of slopes on railway lines was made by helicopter flying and on roads by conventional geotechnical field investigation. Steep slopes had to be climbed through.

The used measuring technique of protection measures was applicated the first time in Germany in two cases.

The experiences with this automatical measuring techniques up to now are discussed.

It is also shown that realistic risk assessment is only possible with the help of permanent measuring methods and the correlation of these measuring results with data of causing factors also permanently registered.

¹Forschungsstelle Rutschungen e.V. an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Deutschland
und geo-international, Mainz, Deutschland
email: mail@geo-international.info

Finally a new developed measuring technique for landslide investigation by passive electromagnetic impulse measurements is introduced.

Key words: Landslides, risk, protection measures, automatical techniques of measurements, alarm systems, early warning, passive electromagnetic investigation method

Einleitung

Seit November 2001 kommt es im Mittelgebirgsraum in SW-Deutschland (Abb. 1) zu einer überdurchschnittlich hohen Anzahl von Schadensereignissen durch Hang- und Böschungsbewegungen an Straßen- und Bahnstrecken. Durch diese Fall-, Gleit-, Drift- und Fließbewegungen (Cruden 1993) entstanden erhebliche Einschränkungen auf diesen Verkehrswegen, die sich auf Bahnstrecken im Jahr 2002 europaweit auswirkten.

Die von den zuständigen Stellen veranlassten geotechnischen Untersuchungen von Schadenstellen und von potentiellen Gefahrenbereichen hatten zum Ziel, Risikoanalysen und Schutzkonzepte zu entwickeln. Für die Bahnstrecken in Tälern des Mittelrheins, der Lahn, Mosel, Saar und Nahe erfolgte die Risikoabschätzung aus Zeitgründen durch Hubschrauberbefliegungen. Anhand dieser Untersuchungsergebnisse wurden Schutzkonzepte entwickelt.

Die Kosten für die Sicherungsmaßnahmen an den genannten Bahnstrecken werden auf 100 Mio € geschätzt.

Die Schutzkonzepte beinhalten auch elektronische Überwachungssysteme mit GPS, Extensometern und Fissurometern. Diese automatischen Messanlagen finden Anwendung, wo aus technischen Gründen konstruktive Sicherungsmaßnahmen nicht möglich bzw. unwirtschaftlich sind, oder wo Ursachenfaktoren für eine optimale Stabilisierung noch zu wichten sind.

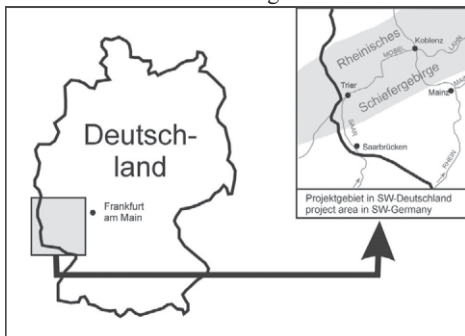


Abb. 1: Projektgebiet
Fig. 1: Project area

Ein neues Verfahren für das Erkunden des Ausmaßes von Rutschkörpern mit elektromagnetischen Impulsmessungen wird nach erfolgreichen Vergleichstests ergänzend eingesetzt.

Risikoabschätzung

Unter Risikoabschätzung wird ein Verfahren verstanden, mit dem ein unerwünschtes Ereignis hinsichtlich des Gefahrenpotentials, welches das Ausmaß und die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens beinhaltet, und die Auftreffwahrscheinlichkeit auf ein bestimmtes Objekt nachvollziehbar charakterisiert wird.

Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens innerhalb eines Zeitraumes kann anhand schon eingetretener Ereignisse durch Analogieschlüsse oder nach der empirischen Formel

$$p = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$$

wobei n die betrachtete Nutzungsperiode, T die Wiederkehrperiode des Ereignisses und p die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses, das gleich oder größer als jenes der Wiederkehrperiode T innerhalb der Nutzungsperiode ist (Lateltin 1997), eingeschätzt werden. Nimmt man beispielsweise einen betrachteten Zeitraum von 5 Jahren an und geht von einem Ereignis in den letzten 10 Jahren aus, so beträgt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens 95,8%. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens ist stets mit Unsicherheiten behaftet, da externe das Ereignis verursachende Faktoren, wie extreme Klimaereignisse oder Erschütterungen nicht vorhersagbar sind.

Zur Abschätzung der Auftreffwahrscheinlichkeit werden Steinschlagsimulationen (Spang & Krauter 2001) und an Straßen und nicht elektrifizierten Bahnstrecken in-situ Fallversuche durchgeführt. Die Vergleiche von Steinschlagsimulationen und Fallversuchen ergeben eine gute Übereinstimmung.

Die wegen der Dringlichkeit durchgeführte Hubschrauberbefliegung an Bahnstrecken ermöglichte, wie sich herausstellte, eine wesentlich schnellere und bessere Einsicht in die Gebirgsverhältnisse in Steilhängen, als durch systematische Geländebegehungen bzw. -durchsteigungen, wodurch eine genauere Abschätzung des Gefährdungspotentials erreicht wurde. Die Zeitersparnis durch Befliegung und gezielter Geländebegehung /Durchsteigung gegenüber herkömmlicher Erkundungsmethoden betrug ca. 90%. Eine erste Risikoeinschätzung erfolgte während der Befliegung. Diese Risikoeinstufung (Abb. 2) wurde durch Auswertung von während der Befliegung aufgenommenen Filmmaterials und gezielten Geländebegehungen überprüft.

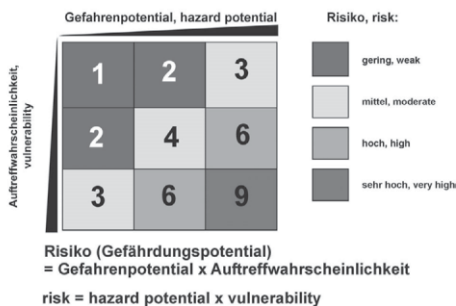


Abb. 2: Risikoeinstufung
 Fig. 2: Risk classification

Die Einstufungen des Risikos von „niedrig“ bis „sehr hoch“ an Bahnstrecken bedeuten:

- niedrig: keine Schutzkonzepte erforderlich, jährliche Inspektionen.
- mittel: Entwicklung und Ausführung von Schutzkonzepten innerhalb von 5 Jahren, halbjährliche Inspektionen.
- hoch: Entwicklung und Ausführung von Schutzkonzepten innerhalb von 3 Jahren, vierteljährliche Inspektionen.
- sehr hoch: Sofortmaßnahmen.

Die Einstufung des Risikos in „sehr hoch“ bedeutet eine hohe Wahrscheinlichkeit des Auftreffens und des Auslösens des Ereignisses durch nicht vorhersehbare externe Faktoren, wie Starkregen, extreme Trockenzeiten, wie im Sommer 2003, und Temperatureinflüsse.

Sofortmaßnahmen können beinhalten:

- Sperrung der Strecke.

- Geschwindigkeitsbeschränkung und Sicherheitsposten.
- Sofortige Ausführung von konstruktiven Sicherungsmaßnahmen.
- Installation von Kontroll- und Überwachungsanlagen.

Diese Sofortmaßnahmen finden auch Anwendung an klassifizierten Straßen. Bei einem gleichen Ereignis besteht allerdings für die Bahn wegen der festen Fahrspur, dem Bremsweg und der Zuglänge gegenüber dem Straßenverkehr ein höheres Risiko.

In Wohngebieten kann diese Einstufung Evakuierung bedeuten. Die Entscheidung für solch eine Maßnahme ist besonders schwierig und erfordert eine exakte Planung mit allen zuständigen Stellen.

Anhand der Ergebnisse der im Rahmen der Sofortmaßnahmen einsetzenden geotechnischen Untersuchungen wird festgelegt, ob die Verkehrseinschränkungen aufrecht zu erhalten sind bzw. welche anderen Sicherungsmaßnahmen zur Anwendung kommen sollen.

Rechnergestützte Modellrechnungen zur Stabilitäts- bzw. Standsicherheitsbetrachtung werden zur Wichtung der Ursachenfaktoren durch Variation der Eingangsparameter mit herangezogen und unterstützen die visuelle Risikoeinschätzung. Eine alleinige Einstufung des Risikos anhand der Ergebnisse von Stabilitäts- oder Standsicherheitsberechnungen ist nicht ausreichend. Die grundlegende Voraussetzung für eine Risikoabschätzung ist immer das Expertenwissen.

Als Ursache für die Zunahme der Rutschungsereignisse (landslides) in den letzten 3 Jahren werden Klimaveränderungen angesehen, die sich in häufigeren Starkregenereignissen im Vergleich zu früher zeigen, ohne dass sich die jährliche Niederschlagsmenge wesentlich verändert.

Ein neues Phänomen in dieser Region ist in dem extrem heißen und trockenen Sommer 2003 aufgetreten. In Rinnen und Runsen, von denen bislang nur bei starken Regenfällen Gefahren durch Murenabgänge ausgingen, traten durch die tiefgründige Austrocknung der Deckschichten und dem damit verbundenen Verlust der scheinbaren Kohäsion „Trockenmuren“ an Bahnstrecken auf, die den Gleiskörper verschütteten.

Eine ständig zunehmende Gefahr geht von aufgelassenen Weinbergen in den Steillagen am Mittelrhein und an der Mosel aus. Die im Hang errichteten Trockenmauern zur Terrassierung der Weinbergslagen werden nicht mehr unterhalten. Es kommt zu deren Einsturz und als Folge zu einem Abgehen der dahinter lagernden Deckschichten, welche am Fuß der Hänge entlang führende Verkehrswege verschütten.

All diese in letzter Zeit auftretenden Ereignisse erfordern eine neue Orientierung des Sicherheitsdenkens in bezug auf Massenschwerebewegungen an Hängen und Böschungen und somit auch der Risikoabschätzung.

Schutzkonzepte

Unter Schutzkonzepte werden Sicherungsstrategien, wozu auch Sanierungs- und Stabilisierungsmaßnahmen zählen können, in Abhängigkeit von dem Gefahrenpotential und der Vulnerabilität verstanden. Die unterschiedlichen Sicherungsstrategien werden an drei Fallbeispielen beschrieben.

Am Fallbeispiel 1 „Bundesstraße B 53 bei Traben-Trarbach“ an der Mittelmosel (Abb. 3) wird das entwickelte Schutzkonzept und dessen Realisierung nach einem Felsausbruch im November 2001, ausgelöst durch ein Starkregenereignis, aufgezeigt.

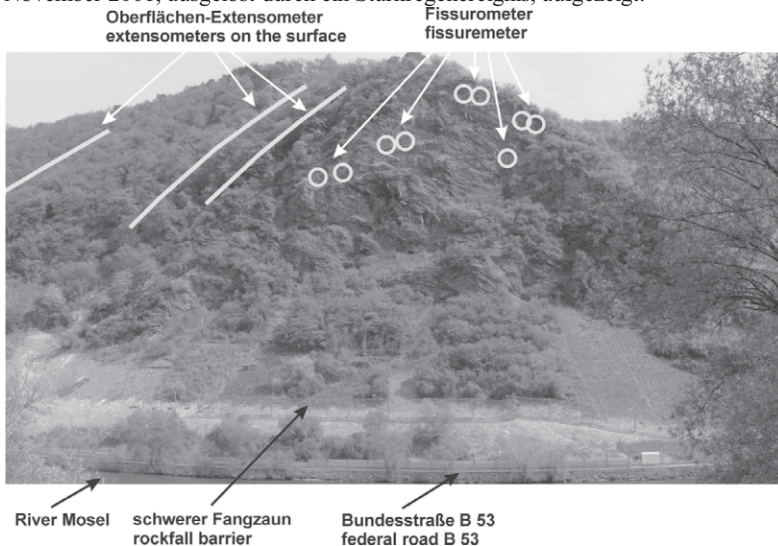


Abb. 3: Gefährdete Hangbereiche mit Überwachungs- und Sicherungseinrichtungen
 Fig. 3: Endangered slope ranges with monitoring devices and protection facilities

Aus einer 80 m hohen Felswand stürzten Felsmassen auf die B 53, worauf der Streckenabschnitt gesperrt wurde. Bei der im Rahmen der geotechnischen Untersuchung erfolgten Durchsteigung der Felswand stellte sich heraus, dass mehrere Felspartien mit einem Volumen bis 500 m³ vom Felsverband durch Spalten getrennt waren, von denen eine potentielle Absturzgefahr ausgeht. In dem bewaldeten Steigelände oberhalb der Felswand wurden bis zu 7 m hohe Abrisse entdeckt. Die scharfen Abrisskanten und die Schiefstellung von Bäumen sind Indizien für aktive Hangdeformationen. Das Risiko für die Bundesstraße B 53 wurde wegen dieser Gefahren als „sehr hoch“ eingestuft.

Daraufhin wurden folgende Schutzkonzepte entwickelt, die entsprechend der Reihenfolge der Aufzählung ausgeführt wurden:

- Aufrechterhaltung der Straßensperrung.
- Beräumung der Felswand unmittelbar absturzgefährdeter Kluftkörper zum Schutz der später dort arbeitenden Baumannschaft.
- Steinschlagsimulationen und in-situ-Fallversuche zur Dimensionierung und Positionierung einer Fangvorrichtung.
- Erstellen einer provisorischen Auffangwand auf der bergseitigen Fahrbahnhälfte der Straße.
- halbseitige Verkehrsfreigabe der B 53.
- Errichten eines 4,5 m hohen Fangzaunes aus Ringnetzen (System Geobrug) im unteren Hangbereich (Abb. 3) mit einer Energieaufnahmefähigkeit von 2.000 kJ.
- Rückbau der temporären Fangvorrichtung und beidseitige Freigabe der B 53.
- Installation von 9 Fissurometern in der Felswand zur Überwachung absturzgefährdeter Felsmassen.

- Verlegung von 3 Extensometern (zweimal 3-fach und einmal 5-fach mit max. Länge von 105,0 m) an der Oberfläche im Steilhang oberhalb der Felswand.

Im Januar 2002 kam es nach langen und intensiven Niederschlägen aus einer Rinne zu einem Murenabgang, der die provisorische Fangwand auf einer Länge von ca. 30,0 m zerstörte und die Straße mit ca. 80,0 m³ Schuttmassen blockierte. Die Straße war allerdings in dem Streckenabschnitt zu diesem Zeitpunkt wegen Hochwasser gesperrt.

Der im Juli 2003 fertiggestellte Fangzaun ist für einen einzelnen Sturzblock mit einem Volumen von 1 m³ in einer Sturzmasse von ≤ 50 m³ und einer nach dem ersten Aufschlag rollenden oder springenden Bewegung konzipiert. Die mit Kontrolleinrichtungen erfassten absturzgefährdeten Felsmassen haben ein Volumen von > 50 m³.

Die Messungen der im Steilhang an der Oberfläche verlegten Extensometer und der in der Felswand im Bereich von Spalten installierte Fissurometer zur Überwachung der Felsdeformationen erfolgen permanent und werden online übertragen. Zur Zeit schwanken die temperaturabhängigen Messwerte um etwa 2 mm pro Tag.

Die Ausführung des Schutzkonzeptes beanspruchte einen Zeitraum von 23 Monaten (November 2001 bis September 2003). Die Kosten für die Ausführung des Schutzkonzeptes belaufen sich auf ca. 1 Mio. €.

Das Alarmierungsschema der automatischen Messanlage geht aus der Abbildung 4 hervor. Funktionsstörungen (Alarm 1) können durch Gewitter, Stromausfall oder Unterbrechung der Telefonverbindung auftreten. Bei einem Totalausfall der Alarmanrichtung erfolgt eine sofortige Überprüfung vor Ort.

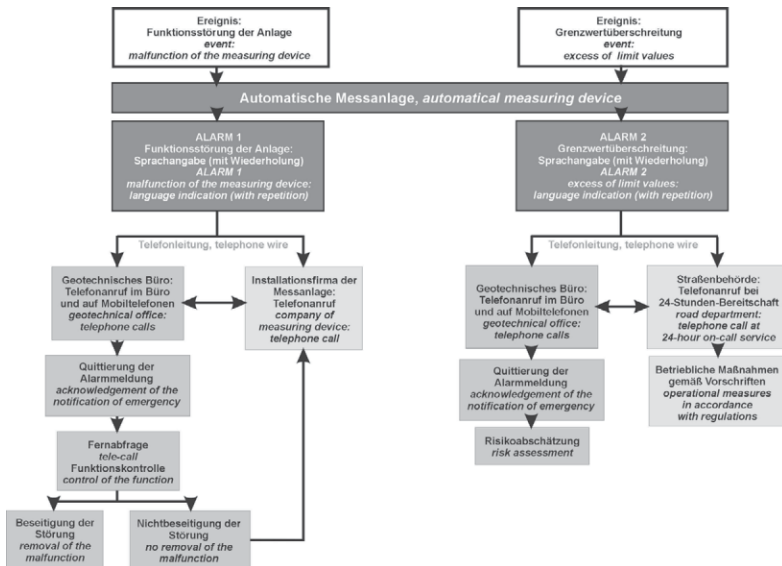


Abb. 4: Alarmierungsschema der automatischen Messanlage
Fig. 4: Alarming pattern of the automatical measuring device

Die Festlegung des Grenzwertes, bei dessen Überschreitung Alarm 2 ausgelöst wird, erfordert Erfahrung aus vergleichbaren Hangdeformationen bezüglich Geologie, Morphologie, Bewegungsrate und Kinematik.

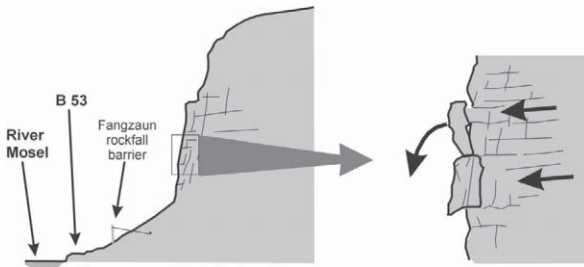


Abb. 5: Schematisches Profil des Felsanges Traben-Trarbach und kinematisches Detailmodell

Fig. 5: Schematic profile of the rock slope Traben-Trarbach and kinematical model in detail

Geologisch handelt es sich um devonische Schiefer mit quarzitischen Sandsteinbänken in nahezu horizontaler Lagerung. Die Querklüfte sind wandbildend.

Der Bewegungstyp ist lamellares Gleiten mit Kipp- und Fallbewegungen (Abb. 5), völlig atypisch für das Rheinische Schiefergebirge. Lamellares Gleiten ist eine Gleitbewegung auf mehreren Ebenen, wobei sich im vorliegenden Fall einzelne Schichtpakete verschieden schnell bewegen, und es zu einem Herausdrücken oberflächennaher Felskörper kommt, die zu Kipp- und Sturzbewegungen führen (Abb. 5, rechts). Als Ursachen werden die unterschiedlichen Scherfestigkeiten der einzelnen Schichtpakete (Schiefer / Sandstein) mit Lettenbestegen auf den Schichtflächen und lokal verschiedenen Kluftwasser- und Strömungsdrücken angesehen.

Das Fallbeispiel 2 befasst sich mit dem Frühwarnsystem eines Rutschareals an der Bahnstrecke bei Pünderich an der Mosel, das von der Datenübermittlung und -bearbeitung mit dem Fallbeispiel 1 vergleichbar ist.

Die elektrifizierte Bahnstrecke ist auf einer Länge von ca. 200 m durch Hangdeformationen akut gefährdet. Schon beim Bau der Bahnstrecke Ende des 19. Jahrhunderts war das Rutschareal mit einer Kubatur von 1,6 Mio. m³ bekannt, und es wurde aufgrund der starken Wasserführung versucht, mittels Drainagen die Hangdeformationen zu minimieren, was auch gelang. Die damals durchgeführten Drainagen sind inzwischen durch mangelnde Wartung nicht mehr funktionstüchtig.

In den 1980er Jahren beschleunigten sich die Verformungen. Seit 1985 hat sich der Bahnkörper im Dezimeterbereich verschoben, wodurch Gleiskorrekturen erforderlich wurden. Anhand der geodätischen Messungen, die im Zeitraum zwischen 1994 und 2000 in Zeitabständen zwischen einem Monat und 20 Monaten erfolgten, wurde ein kinematisches Modell entwickelt (Abb. 6), das durch die späteren Untersuchungen, wie Bohrungen, Inklinometer- und Extensometermessungen, bestätigt wurde. Die Verformungen ließen auf eine zunehmende Gefährdung der Bahnstrecke schließen, so dass zeitweise eine Langsamfahrstrecke eingerichtet wurde. Um das Risiko für die Bahnstrecke zu erfassen, wurde im Herbst 2000 eine automatische Anlage zur Kontrolle und Überwachung der Hangdeformationen installiert. Es handelt sich dabei um drei Messstellen bergseitig des Gleiskörpers mit Dreifach- und Vierfach-Extensometern für permanente Messungen, die im Gegensatz zu Traben-Trarbach in Bohrlöchern verlegt sind. Die Extensometer reichen bis 10 m unter bzw. hinter die Gleitfläche, die im Bereich des Gleiskörpers 35 m u.GOK liegt.

Unmittelbar talseitig des Bahnkörpers wurde ein Inklinometermessrohr bis 45 m Tiefe hergestellt, das inzwischen durch die Hangdeformationen abgesichert ist.

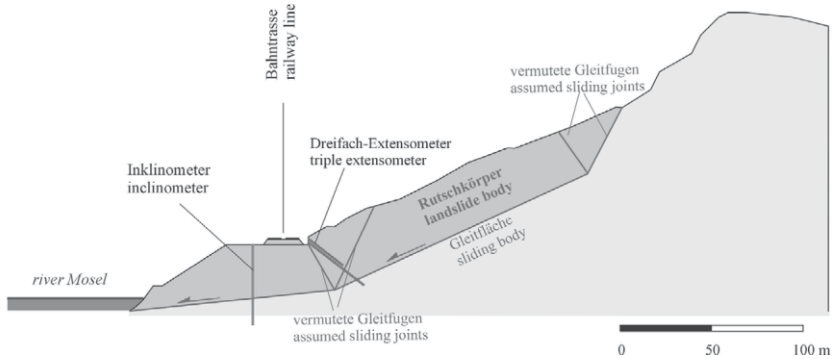


Abb. 6: Profil mit kinematischer Modellbildung des Rutschkörpers.

Fig. 6: Profile with kinematic concept of the landslide body.

Die Kosten für Bohrungen, Installation der Inclinometerverrohrung sowie die Extensometer-Messeinrichtung und geotechnische Leistungen belaufen sich auf ca. 180.000 €.

Als steuernder Faktor für die Hangbewegungen wurden anfangs die Niederschläge vermutet. Die Korrelation der episodisch durchgeführten Verformungsmessungen mit den monatlichen Niederschlägen ergab scheinbar eine Übereinstimmung. Die Korrelation der permanenten Extensometermessungen mit den täglichen Niederschlagsmessungen und den Wasserständen der Mosel ergab allerdings, dass der Einfluss des Moselwasserstandes auf die Verformungsgeschwindigkeit dominiert (Abb. 7) Diese Erkenntnis hat Einfluss auf in Erwägung gezogene Entwässerungsmassnahmen bergseitig des Bahnkörpers. Durch diese Zusammenhänge kommen jedoch Entlastungsbrunnen talseitig des Bahnkörpers infrage, die den Einfluss auf die Verformungsgeschwindigkeit, sowohl durch den Moselwasserstand als auch durch die Niederschläge verringern würden.

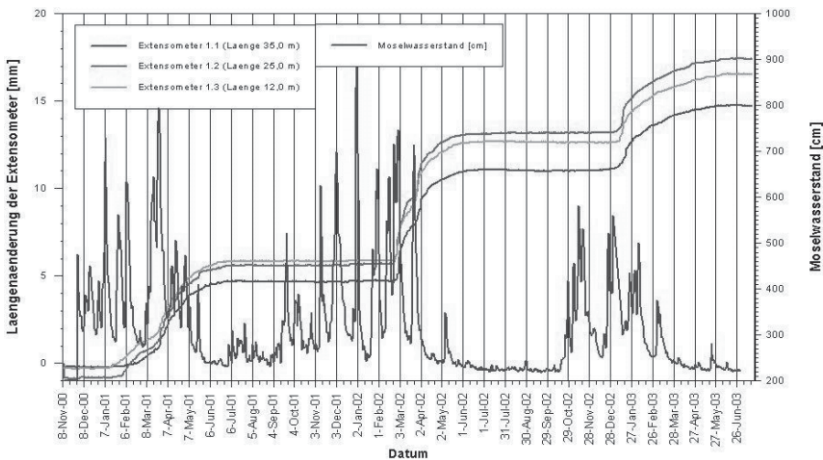


Abb. 7: Korrelation Längenänderung Extensometer mit Moselwasserstand

Fig. 7: Correlation change of length of the extensometer and the water level of the River Mosel

Die erste Festlegung von Grenzwerten bei deren Überschreiten Alarm 2 (vgl. Abb. 4) ausgelöst wird, erfolgte, wie im Fallbeispiel 2 an der Bundesstraße B 53 bei Traben-Trarbach, anhand von Erfahrungswerten an vergleichbaren Hang- und Böschungsdeformationen. Mittels den Ergebnissen der permanenten Messungen in Kombination mit der Inaugenscheinnahme vor Ort wurde der Grenzwert mehrmals angeglichen, was auch für die B 53 im Fallbeispiel erforderlich sein wird.

Die seit Herbst 2000 durchgeführten Extensometermessungen erreichen im Rutschungszentrum eine Verformung von 15 cm. Die Grenzwerthöhung erfolgt bis jetzt in Stufen von 4 mm.

Langzeitmessungen an Rutscharealen zeigen, dass ein Rutschungs- oder Felssturzereignis erst dann unmittelbar bevorsteht, wenn die Beschleunigung oder deren Dauer im Vergleich zu vorhergehenden Beschleunigungen ansteigt. Diese Feststellung und die daraus abgeleitete Risikoeinschätzung ist jedoch nur durch permanente Beobachtungsmethoden verlässlich.

Eine Stabilisierung mittels konstruktiver Massnahmen wurde wegen der Tiefenlage der Gleitfläche und dem Volumen der Rutschmasse nicht in Betracht gezogen.

Über Entwässerungsmaßnahmen zur Minimierung von Hangdeformationen ist grundsätzlich zu sagen, dass sie immer einen Unsicherheitsfaktor enthalten, da nicht sicher einzuplanen ist, inwieweit und wann diese Maßnahme greift. Die Dauer ihrer Funktionstüchtigkeit hängt von der Wartung ab. Häufig werden Entwässerungen zusätzlich zu konstruktiven Massnahmen als „stille“ Sicherheit eingeplant.

Das Fallbeispiel 3 behandelt Hang- und Böschungsbewegungen im Bereich eines Autobahndamms der A 62 Landstuhl – Trier bei Quirnbach in der Pfalz, wo erstmalig in Deutschland im August 2002 zur permanenten Kontrolle das satellitengestützte GOCA-System (GPS-based Online Control and Alarm System) mit Telemetrieinrichtung eingerichtet wurde.

Untersuchungen und Kontrollen dieses Rutschareals erfolgten bereits Ende der 60er Jahre durch Inklinometer und geodätischen Messungen. Die periodisch durchgeführten Messungen zeigten Verformungen an, ließen jedoch wegen der in großen Zeitabständen erfolgten Messepochen keine Gefahren- oder Risikoabschätzung zu. Die Inklinometermessungen erbrachten keine verwertbaren Ergebnisse in Bezug auf Kinematik und Tiefenlage der Gleitfläche sowie der Deformationsrate. Dies lag daran, dass für das zugrunde gelegte kinematische Modell nur Verformungen in der Aufschüttung des Autobahndamms angenommen wurden. Tatsächlich liegt die Gleitfläche in den talwärts einfallenden Sand- und Schluffsteinen des Unterrotliegenden ca. 25 m unter der Autobahntrasse.

Der Friedhof im unteren Hangteil und die sich talseitig anschließende Kreisstraße zeigen ebenfalls erhebliche Deformationen. Die Verformungsrate beträgt 1 bis 2 cm/a.

Mit dem GOCA-System werden über eine Netzkonfiguration von vier Beobachtungspunkten im Rutschareal und einem Referenzpunkt im unbewegten Gelände die Entfernungen zwischen Messpunkten und Satelliten in Echtzeit gemessen (Abb. 8). Zur Genauigkeitssteigerung wird innerhalb jeder Zeitschleife auch der Vektor jedes Beobachtungspunktes zum Referenzpunkt (Basislinie) bestimmt. Aus den Referenzkoordinaten und den Basislinien werden im Rahmen einer Deformationsanalyse und durch zusätzlich berechnete Filterkurven online die Koordinaten der Beobachtungspunkte berechnet. Durch eine Nachkorrektur der Messwerte im post-processing erhält man Messgenauigkeiten bis 1 mm in der Lage und 2 bis 3 mm in der Höhe. Von der Software des Rechners in der GOCA-Zentrale werden die Messdaten in einem vorgegebenen Zeittakt über Funkantennen abgefragt und gespeichert. Mittels einer Alarmierungssoftware werden bei Überschreiten definierter Alarmzustände sofort Alarmmeldungen via SMS, Bandansage und E-Mail versendet. Über Modem und

Fernwartungssoftware können die Messungen von jedem berechtigten Fremdrechner zu jedem Zeitpunkt überwacht und die Messdaten übermittelt und graphisch dargestellt werden. Ein Vorteil der Messmethode liegt darin, dass sich bei nicht ausreichender Kenntnis der kinematischen Vorgänge die Messgeräte ohne großen Aufwand kurzfristig versetzen lassen, was bei festinstallierten Systemen nicht der Fall ist.

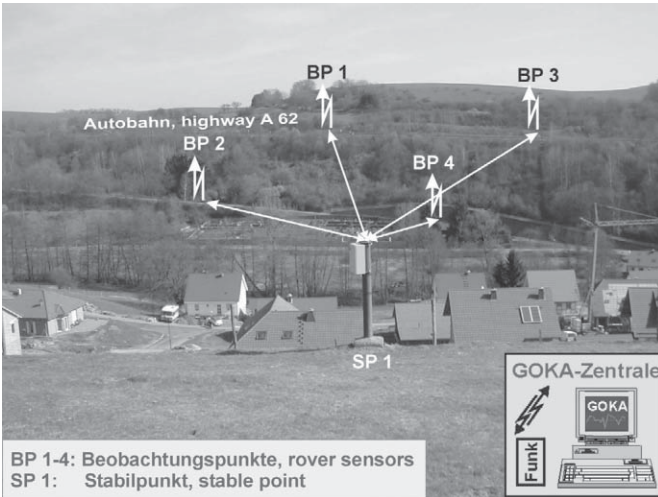


Abb. 8: GOKA-Konfiguration im Rutschgebiet.
 Fig. 8: configuration of the GOKA system in the landslide area.

Stabilisierungskonzepte werden erst nach ausreichender Kenntnis des Einflusses der Ursachenfaktoren anhand weiterer permanenter Messreihen (Verformungsmessungen, Niederschläge) entwickelt, wozu ein Zeitraum von 2 Jahren angesetzt wurde. Die Kosten für das installierte Messsystem einschließlich fünfjähriger geotechnischer Leistungen betragen ca. 140.000 €. Schwierigkeiten bereitet zur Zeit noch die Definitionen der Alarmstufen, da die Messdaten von der Satellitenkonstellation abhängig sind, die Ausreißer zur Folge haben.

All die in den Fallbeispielen installierten elektronischen Einrichtungen für permanente Messungen von Hangdeformationen arbeiten inzwischen einwandfrei. Störungen durch Gewitter, Stromausfall oder Unterbrechungen der Datenübermittlungsträger lösen zwar immer wieder Alarmstufe 1 (Funktionsstörung) aus, können aber meist von der Datenzentrale aus behoben werden. Die Alarmstufe 1 und 2 wird durch Rundruf solange durchgegeben bis von einer zuständigen Stelle eine Quittierung erfolgt. Die permanent arbeitenden elektronischen Messanlagen sind als Frühwarnsysteme zum Schutz von Leben und Eigentum aufzufassen.

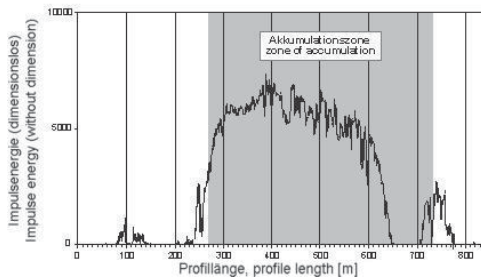
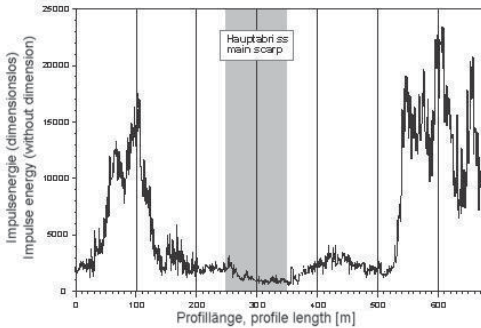


Abb. 9: Mechanisch arbeitende Messuhr mit einer Ablesegenauigkeit von 2 mm
 Fig. 9: Mechanical measuring instrument with an accuracy of reading of 2 mm

Zur Überwachung von Felspartien, bei denen das Risiko nicht oder noch nicht einzustufen ist, wurden von geo-international Mainz mechanisch arbeitende, im Vergleich zu den elektronischen Einrichtungen kostengünstige Messuhren entwickelt, die aus Distanz episodisch abgelesen werden können (Abb. 9).

Erkundung von Rutscharealen mit passivem elektromagnetischem Verfahren

Ein neuentwickeltes Messverfahren wird derzeit in Rutschgebieten im Mittel- und Hochgebirgsraum zur Erkundung von Hangbewegungen angewandt. Die Erkundungsmethode



basiert darauf, dass Minerale und Gesteine bei Spannungumlagerungen durch mehrere physikalische Effekte (z.B. piezoelektrischer Effekt) eine natürliche elektromagnetische Strahlung im Niederfrequenzbereich emittieren. Eine gerichtete mechanische Spannung führt zu einer ebenso gerichteten elektromagnetischen Emission.

Mit der sog. NPEMFE-Methode (Natural Pulsed Electromagnetic Field of Earth) können die elektromagnetischen Impulse ohne Bodenkontakt registriert werden. Unter Spannung stehende Bereiche der Erdkruste (z.B. tektonisch aktive Störungen, potenzielle Hangrutschungen, Erdfälle, Firstschläge) sollten als Anomalie vor dem Schadensfall erkannt werden. Auch zur Vorhersage von Erdbeben und Vulkanausbrüchen wird das Verfahren z.Z. erprobt.

Abb. 10: Cereskop-Profile in Rutscharealen
Fig. 10: Cereskop profiles in landslide areas

Eine kleine portable Messeinheit mit externer Ferritstabantenne, das sog. „Cereskop“, registriert dabei die elektromagnetischen Signale durch Abschreiten von Profilen an der Oberfläche. Mit einer speziell entwickelten Bohrlochsonde ist das Verfahren auch in Bohrlöchern z.B. für die Erkundung von Gleitflächentiefen und Charakteristiken von Hangversagensmechanismen geeignet.

Im Zuge der Untersuchung von Rutschungen zeichnen sich im Bereich von Akkumulationszonen der Rutschmassen bei einer Tiefenlage der Gleitfläche > 5,0 m u.GOK bei überkonsolidierten Böden und Fels deutliche Anomalien ab (Abb. 10, unteres Bild). Eine Abgrenzung des Rutschareals von der unbewegten Umgebung ist in diesem Bereich möglich. Im Abrissbereich der Rutschung zeigen sich im Profil sehr niedrige Messwerte (Abb. 10, oberes Bild), was auf eine Entspannung hindeutet. In der Umgebung der bereits abgegangenen Rutschmassen dagegen werden auffällige Anomalien registriert. Diese Anomalien werden als potenzielle Rutschkörper gedeutet, von denen aufgrund erhöhter Spannungsänderungen verstärkte Hangrutschgefahr ausgeht.

Ein Einsatz der NPEMFE-Methode als Vorerkundungsmethode, z.B. zum Erfassen des oberflächlichen Ausmaßes von Rutschungen, zur näheren Festlegung von geplanten Bohrpunkten ist aufgrund der schnellen, kontaktlosen und gerichteten Messung der Impulse mit dem „Cereskop“ nach Verständnis der theoretischen Grundlagen sinnvoll.

LITERATUR

- Cruden, D. (1993): Multilingual Landslide Glossary. Published by: BiTech Publishers Ltd. Canada, ISBN 0-920 505-10-4
- Fröhlich, B., Jehle, R. & Krauter, E. (2003): "Systematische Bestandsaufnahme des Gefährdungspotentials an Bahnstrecken durch Steinschlag, Felssturz und Hangrutsch im Mittelrhein-Mosel-Lahngebiet". *Berichte von der 14. Tagung für Ingenieurgeologie in der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*. Institut für Geowissenschaften Kiel 2003. Hrsg: Feeser, V.
- Krauter, E., Katzenbach, R. & Lauterbach, M. (2001): "Möglichkeiten und Grenzen der Beobachtungsmethoden bei labilen Gebirgsverhältnissen". *Siegener Symposium: Messtechnik im Erd- und Grundbau*. Universität Siegen Institut für Geotechnik, Hrsg.: Herrmann, A.
- Lateltin, O. (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Hrsg : Schweizer Bundesämter für Raumplanung, für Wasserwirtschaft und für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern
- Spang, R.M. & Krauter, E. (2001): "Assessment and Dimensioning of Rockfall Barriers". *International Conference on Landslides in Davos, Switzerland*. Edited by M. Kühne, H.H. Einstein, E. Krauter, H. Klapperich, R. Pöttler. Glückauf - Essen