143 MITTEILUNGEN der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik
PUBLICATION de la Société Suisse de Mécanique des Sols et des Roches
Herbsttagung, 21. September 2001, Brig – Réunion d'automne, 21 septembre 2001, Brigue

Frühwarnsysteme in einem 1600 km langen Strassennetz

Dr. R. Krähenbühl

Frühwarnsysteme in einem 1600 km langen Strassennetz

Ruedi Krähenbühl, Kantonales Strassenbaulabor, Tiefbauamt Graubünden

Einleitung

Gravitative Geländebewegungen gehören in einem Gebirgskanton zum Selbstverständnis. Grossereignisse wie Bergstürze, Felssackungen und Grossrutschungen haben sich durch Talübertiefungen vorwiegend spät- bis nacheiszeitlich gebildet. Durch diese Grossereignisse wurden übersteile Hänge in ein relatives Gleichgewicht gebracht, so dass wir heute nur noch mit kleinen Ereignissen konfrontiert werden.

Das linienförmig durch die Landschaft gezogene Strassennetz reagiert sehr empfindlich auf Rutschungen und bildet oft den Fallboden für Steinschlag und Blocksturz. Die unangenehmsten Risiken die sich daraus ergeben sind für den Gebirgsbewohner Verkehrswegunterbrechungen, welche ihn für längere Zeit von der Umwelt abschneiden. Der Strassenerbauer und Betreiber trägt einerseits die Erstellungs- und anderseits die Unterhaltsrisiken, die sich je nach der geologischen Beurteilung und den eingesetzten Mitteln mehr oder weniger reduzieren lassen. Der Strassenbenützer letztlich trägt das Risiko, dass er infolge Massenbewegungen zu materiellem oder leiblichem Schaden gelangen kann. Für Gebirgsbewohner ist dieses Risiko eine Selbstverständlichkeit, der Flachländer dagegen ist sich dessen nur wenig oder nicht bewusst. Anders als bei stationären Anlagen, wie beispielsweise Kunstbauten oder Siedlungen, ist das gleichzeitige Zusammentreffen von Verkehrsteilnehmer und Naturereignis selten. Daher sind die vorhandenen Mittel zur Behebung von Naturgefahren nur da für den Verkehrsteilnehmer sinnvoll einzusetzen, wo entweder eine hohe Verkehrs- oder eine hohe Ereignisdichte das Unfallrisiko in eine ähnliche Grössenordnung bringt, wie das Risiko bei der gleichen Verkehrsdichte in einen Unfall verwickelt zu werden [1]. Erheblich mehr finanzielle Mittel sind notwendig, wenn ein grosses, stationäres Schadenpotential vorliegt, wie beispielsweise bei exponierten Brücken oder, wo Achsunterbrechungen zu einer starken Einschränkung von grösseren Bevölkerungsgruppen führen.

Vor diesem Hintergrund erhält die Früherkennung bzw. der Frühwarndienst von Naturereignissen einen besonderen Stellenwert. Dabei gilt es nicht zu vergessen, dass es sich um geologische Prozesse handelt, die bekanntlich in weitaus grösseren Zeiträumen ablaufen als wir Menschen dies gewohnt sind und sie zu überblicken vermögen. Nur in seltenen Fällen wissen wir wie die Zeit-Bewegungskurve einer Massenbewegung über die Dauer von hundert Jahren ausschaut, geschweige denn, wo wir uns derzeit auf dieser Kurve befinden. In der heutigen Euphorie von technischen Mess- und Berechnungsmöglichkeiten neigen wir dazu, viel zu messen und zu rechnen, und vernachlässigen dabei oftgezielt Antworten für die Ursache der auftretenden Massenbewegungen zu finden, um den lokalen Prozess zu verstehen. Für Letzteres sind nach wie vor profunde, geologische Kenntnisse sowie die beobachtenden und analytischen Fähigkeiten des Naturwissenschafters gefragt, wie sie unsere älteren Geologengenerationen uns eindrücklich vorgezeigt haben. In der heutigen Hektik finden zwar Zeit um zu messen, jedoch kaum noch Zeit um diese Messungen auszuwerten und schon gar nicht ausreichend Zeit um die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen. Es besteht eine erhebliche Gefahr, dass infolge Fehlbeurteilungen, basierend auf kurzzeitigen Messergebnissen, grosse Bauinvestitionen geplant und ausgeführt werden, welche zwar an der betreffenden Stelle oftmals das Restrisiko zu eliminieren vermögen, dafür fehlen dann aber die Mittel, um an anderen Stellen vergleichbare oder grössere Risiken auf ein vernünftiges Mass reduzieren zu können.

Massenbewegungen im Bündner Strassennetz

Kriech- und Rutschhänge machen sich durch entsprechende Deformationen im Strassennetz bemerkbar und sind daher im ganzen Kanton bekannt. Gehäuft treten sie da auf, wo insbesondere schiefrige Gesteine mit ungünstigen fels- und bodenmechanischen Eigenschaften auftreten. Korreliert man die Häufung von Rutschungen mit der geologischen Karte, so sind Rutschungen besonders zahlreich in den Bündnerschiefern, in den Flyschen, in den Schiefern der Aroserzone, der Umrandung des Engadiner Fensters und in den Verrucanoschiefern anzutreffen (Abb. 1). Demgegenüber lässt sich Steinschlag, Block- und Felssturz weniger mit der Geologie als vielmehr mit der Lage der Felstrennflächen und ihrem Verschnitt mit den Strassenanschnitten korrelieren. Tiefgründige Rutschungen mit Tiefgang > 20 m weisen im Regelfall nur geringe Verschiebungsraten im mm-Bereich auf und verursachen im Strassennetz weiche Deformnationen, d.h. sie bilden selten ernsthafte Probleme. Ausgenommen davon sind Rutschungen mit ausgeprägter Schollenbildung, wo Bewegungsdifferenzen zwischen den Schollen zu markanten Absätzen führen. Dies erfordert einen periodischen Unterhalt. Oberflächliche Rutschungen mit Tiefgang von 1-5 m treten oft spontan, kollapsartig und ohne Vorwarnung auf. Sie können den Verkehrsteilnehmer gefährden, sind aber im Schadenfall mit verhältnismässig bescheidenem Aufwand instandzusetzen. Die grössten Schwierigkeiten bereiten jene Rutschungen, deren Tiefgang zwischen 5 – 20 m liegt. Sie unterliegen periodischen Deformationen von mehreren cm – dm/Jahr und vermögen insbesondere Kunstbauten grosse Schäden zuzufügen. Hinsichtlich

ihrer Aktivitäten sind untiefe Rutschungen meist unberechenbar und ein partieller, die Strasse unterbrechender, plötzlicher Kollaps kann nicht in jedem Fall ausgeschlossen werden. Obwohl sie oft von der Lokalität her bekannt sind, ist eine Früherkennung von kritischen Aktivitäten meist nur mit grossem Aufwand möglich.

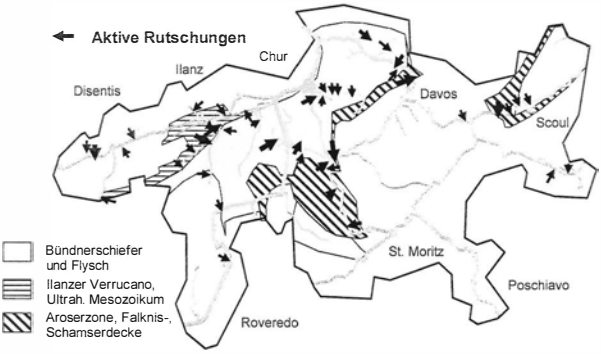


Abbildung 1: Übersicht der aktiven Rutschungen hinterlegt mit einem Auszug der Geologie

Durch entsprechende Strassenschäden sind Steinschlag und Blocksturz gut lokalisiert. Zudem ist ihre Periodizität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit aufgrund von örtlichen Erfahrungen relativ gut bekannt. Sehr viel schwieriger verhält es sich bei Felssturz. Solche Ereignisse mit grosser Schadenwirkung künden sich nur in seltenen Fällen an und deren Abrisszonen können weit ausserhalb des Strassenperimeters liegen. Rüfen und Murgänge nehmen einen ähnlichen Stellenwert wie Steinschlag und Blocksturz ein. Dies mit der Ausnahme, dass sie sich meist auf Bereiche von Gewässern konzentrieren und daher im Strassennetz weniger häufig sind. Sie treten meist nach Starkniederschlägen auf und lassen sich daher zeitlich besser eingrenzen als Stein- und Blockschlag. Da sie räumlich eng begrenzt sind, wurden viele rüfenträchtige Bachläufe in den letzten Jahren gezielt verbaut.

Angesichts dieser Risikobeurteilung beschränkt sich das Schwergewicht zur Früherkennung von Ereignissen entlang dem Strassennetz auf grössere Felsstürze, auf untiefe Rutschungen, sowie auf eine örtliche Überwachung von gefährdeten Kunstbauten.

Felssturz Lago di Poschiavo

Aufgrund eines sehr ungünstig liegenden Felstrennflächensystems in den massigen Gneisen nördlich des Lago di Poschiavo ist die entlang dem Seeufer verlaufende Kantonsstrasse seit Jahren periodischem Steinschlag sowie Block- und Felssturz ausgesetzt (Abb. 2). Da die Strasse aufgrund der engen Platzverhältnisse mehrheitlich aus Brückenkonstruktionen besteht, wurden in den letzten Jahren kontinuierlich Steinschlagverbauungen und Felssicherungen realisiert. Im Frühjahr 1998 stürzte am Südende des Lago di Poschiavo aus ~ 30 m Höhe ~ 20 m³ Fels auf die Ponte Scalascia VI. Die Brücke wurde erheblich beschädigt und musste in der Folge provisorisch verstärkt werden. Die gesamte Felswand nördlich der Ponte Scalascia ist stark aufgelockert, und wurde initial durch eine alte Felssackung entfestigt. Schon beim Bau der RhB und später der Kantonsstrasse wurden in der gesamten Felswand lokale Felsunterfangungen vorgenommen. Weder diese Stein- noch Betonmauern vermochten dem Gebirgsdruck zu widerstehen und wurden zerrissen. Die schadenverursachende Wirkung von Block- und Felssturz aus dieser Höhe ist für Brücken enorm. Ein Kollaps der ganzen Felswand von 6'000 – 10'000 m³ Gestein würde zu einer vollständigen Zerstörung der beiden Verkehrsträger und zu einer Achsunterbrechung des Puschlavs von mehreren Monaten führen. Mit 2'500 bis 7'000 Fahrzeugen pro Tag sind die Verkehrsspitzen der Strasse gleich hoch, wie der Jahresdurchschnitt der Prättigauerstrasse oder des San Bernardino Tunnels

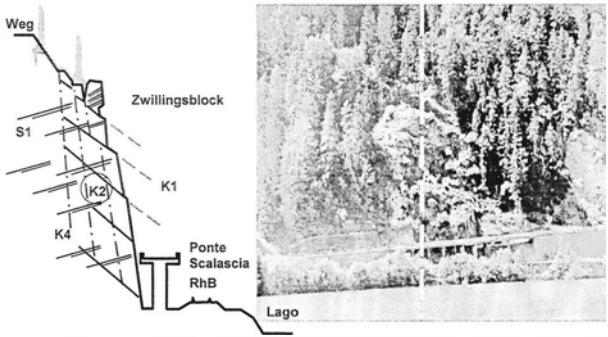


Abbildung 2: Ansicht der Felssackung und schematischer Schnitt mit Lage der Felstrennflächen

Anhand detaillierter geologischer Aufnahmen und messtechnischer Instrumentierungen wurde die Felswand in verschiedene Gefährdungszonen unterteilt (Abb. 3). Die dabei festgestellte Labilität eines ~ 400 m³ umfassenden Zwillingsblocks stellte ein unverantwortbares Gefahrenpotential dar. Die Suche nach geeigneten Massnahmenvarianten gestaltete sich schwierig. Die exponierte Lage des Zwillingsblocks sowie die Unkenntnis der verbleibenden Stabilitätsreserve, wie auch die Frage der Machbarkeit von Ankerarbeiten in einem von bis 2 m grossen Hohlräumen durchsetzten Gebirge, beinhalteten grosse Unsicherheiten und Ausführungsrisiken. Während die Bauherrschaft eine definitive Lösung durch Abtrag des Zwillingsblocks bevorzugte, favorisierten die Geologen und Felsbauspezialisten eine Felssicherung. Mit der Ausführung eines Teilabtrages unter gleichzeitiger Sicherung der fortschreitenden Abbauetappen traf man sich schliesslich in der Mitte. Zusätzlich versetzte Extensometer sollten eine besser fundierte Risikobeurteilung und eine künftige Überwachung der Felssackungsmasse ermöglichen.

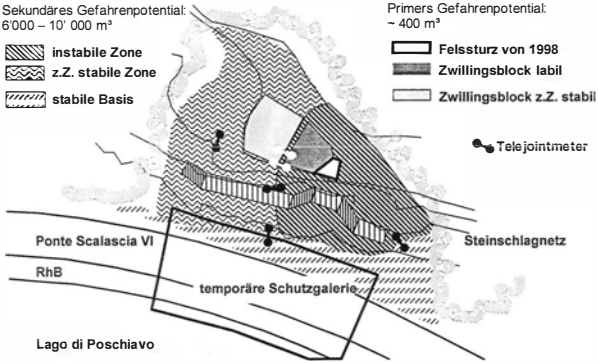


Abbildung 3: Befund aus geologischen Aufnahmen und Telejointmetermessungen

Die äusserst delikaten Bauarbeiten hatten unter Aufrechterhaltung des Strassen- und Schienenverkehrs zu erfolgen. Dies sollte mit dem Bau einer provisorischen Schutzgalerie sowie mit Steinschlagnetzen gewährleistet werden. Aufgrund der Labilität musste der Felsabtrag als chirurgischer Eingriff mit höchster Vorsicht vorgenommen werden. Der Abtrag erfolgte ausschliesslich mit Spaltgeräten und die auf ~ ½ m³ reduzierten Blöcke wurden mit einer Seilbahn aus dem Abbaugebiet abtransportiert.

Zur Gewährleistung der notwendigen Arbeits- und Verkehrssicherheit wurde neben täglich kontrollierten Felssiegeln ein auf Telejointmetermessungen basierender, automatischer Frühwarndienst eingerichtet und eine entsprechende Alarmorganisation aufgebaut (Abb. 4). Beim Überschreiten definierter Alarmwerte wurde die Strasse mittels Rotlicht gesperrt und die Züge durch entsprechende Massnahmen seitens der RhB aufgehalten. Über die gesamten Bauarbeiten haben sich mehrere Alarmsituationen zu den unterschiedlichsten Tages- und Nachzeiten eingestellt. Jeder Alarm erforderte eine sorgfältige Überprüfung der Messdaten sowie der Gegebenheiten vor Ort, bevor der Verkehr und die weiteren Bauarbeiten freigegeben werden konnten. Kein einziger der verschiedenen Alarmsituationen konnte jedoch auf effektive Felsverschiebungen zurückgeführt werden. Vielmehr führten Einwirkungen von Wild, Bauarbeiten, Blitzschlag, oder gar Vandalenakte zu solchen Alarmen. Unabhängig des südlichen Temperaments der lokalen Bevölkerung führte dies zu einer abnehmenden Akzeptanz und resultierenden Ignoranz der vereinzelten Strassensperrungen. Dies zeigte auch die Problematik von derartigen automatischen Frühwarnsystemen auf. Sie sind nur in besonders kritischen Verhältnissen einzusetzen.

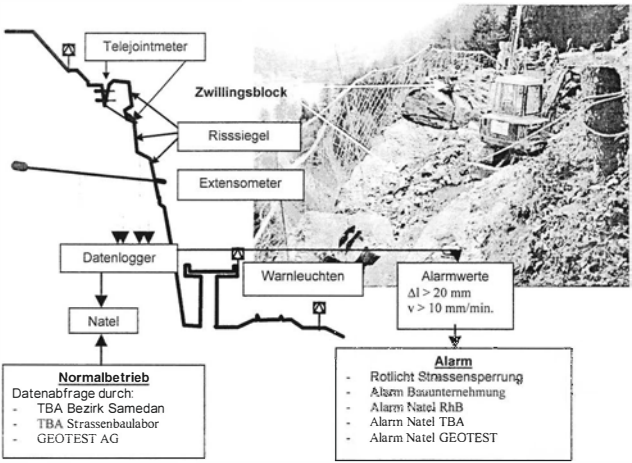


Abbildung 4: Schema des Alarmdispositivs mit Bild des Zwillingsblockabbaus

Die Arbeiten konnten im Sommer 2000 kontrolliert und ohne Zwischenfälle abgeschlossen werden. Der unerwartet gute Arbeitsfortschritt der routinierten Felstechnik-Spezialfirma ermöglichte den Abtrag beider Hälften des Zwillingsblocks. Trotz Kluftweiten von 1 - 2 m war es technisch möglich, versuchsweise Litzenanker zu versetzen und normgerecht auszuführen. Da mit den schwierigen Bohrarbeiten der Verlust von Bohrgestängen unvermeidbar war, gelangte versuchsweise ein neues Bohrverfahren zur Anwendung, bei dem gleichzeitig mit dem Bohrvortrieb ein Futterrohr ins Bohrloch eingezogen wird. Der durchschlagende Erfolg blieb vorderhand noch aus. Der Felsabtrag legte hinter dem Zwillingsblock ein Haufwerk von verstellten Blöcken frei, die mit Vollverbundankern temporär gesichert und mit zunehmendem Arbeitsfortschritt unterfangen wurden.

Das aufgrund der Ankerbohrungen eruierte Befundprofil der Felssackung zeigt ein doch erstaunliches Bild (Abb. 5). Die von aussen kompakt erscheinende Felswand erreicht lediglich eine Stärke von 5 - 7 m, dahinter liegt ein Haufwerk von beliebig verstellten Blöcken mit grossen Hohlräumen. Aufgrund des extrem hohen

Durchtrennungsgrades dieses Gebirges waren sich alle Experten einig, dass Wasser drainiert wird und keine Druckspannungen auf den Felsen aufbauen kann. Mit einem Zeitverzug von ½ bis 1 Tag sprangen die Teiejointmeter jeweils nach Regenfällen mit kleinen Verschiebungssprüngen von < 0.5 mm an

Die Extensometer, die Telejointmeter und die Ankerkraftmessdosen wurden für die weitere Überwachung in die automatische Datenerfassung integriert. Neben der Gefahrenbeseitigung und einer geringfügigen Kopfentlastung durch den Zwillingsblockabtrag konnte eine Beruhigung der Felsbewegungen an der Felswandoberfläche festgestellt werden. Hingegen zeigten alle Extensometer sowohl im vorderen wie auch im zurückversetzten, weniger verstellten Felswandteil Verschiebungen. Wo die gemessenen Verschiebungsraten in dem spätestens seit dem RhB Bau festgestellten Bewegungsregime einzuordnen sind, werden künftige Messungen zeigen müssen. Dank der ausgeführten Arbeiten hat man die Gewissheit, dass in diesen äusserst schwierigen Gebirgsverhältnissen Sicherungsmassnahmen mittels Anker machbar sind, und dass im Fall von künftig unverantwortbaren Verschiebungszunahmen nicht à priori eine, um ein mehrfaches teurere Tunnelumfahrung ins Auge gefasst werden muss

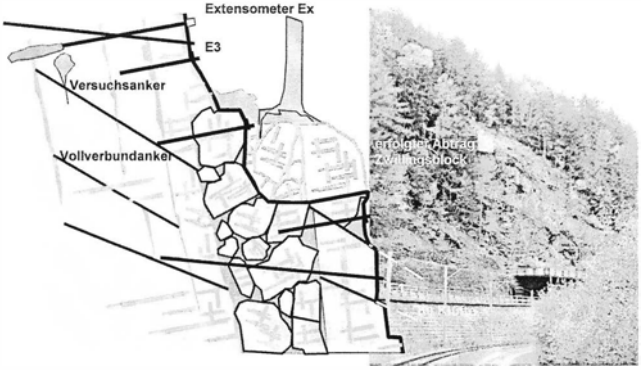


Abbildung 5: Befundprofil und Baustellenansicht am Ende der Abtrags- und Sicherungsarbeiten

Antropogen verursachte Risiken

Da der Strassenerbauer im Gebirge häufig mit Hängen von nur geringer oder fehlender Stabilitätsreserve konfrontiert ist, sind trotz gebührenden Abklärungen und Vorsichtsmassnahmen Geländedestabilisierungen nicht immer vermeidbar. Mit den dadurch notwendig werdenden Sicherungsmassnahmen müssen oft Kräfte in den Baugrund eingeleitet werden. Damit entstehen permanente Sicherungen, welche aufgrund ihrer beschränkten Lebensdauer überwacht und gegebenenfalls ersetzt werden müssen. Um für Letzteres den richtigen Zeitpunkt zu finden, sind ebenfalls geeignete Früherkennungssysteme anzuwenden. Die Überwachung der natürlichen und antropogenen Risiken bindet grosse, jährliche Fixkosten. Um möglichst viele Mittel in den Bau und Unterhalt der Strassen fliessen lassen zu können, müssen solche Überwachungen und Früherkennungen möglichst effizient sein. Da Kräfteänderungen oder Verschiebungszunahmen meist zu Deformationen in Kunstbauten und Strassenkörpern führen, sind periodische, visuelle Überprüfungen, wie sie mit Routinekontrollen durch den Strassenunterhalt und alle 5 Jahre mit periodischen Kontrollen der Kunstbauten durchgeführt werden, sehr wirkungsvoll. Wo umfassende Messeinrichtungen anfänglich zur Erkennung der Bewegungscharakteristik und später für die Überwachung unumgänglich sind, bewährt es sich, ab einem gewissen Beobachtungszeitpunkt den „Normalzustand" zu definieren und zu deklarieren. Mit einem reduzierten Überwachungsprogramm ist dann periodisch zu überprüfen, ob massgebende Abweichungen zu diesem Normalzustand festzustellen sind. Gegebenenfalls muss mit zusätzlichen Messungen näher verifiziert werden, ob die Verschiebungen annehmbar sind oder ob Massnahmen notwendig werden. Mit diesem stufenartigen Vorgehen können die jährlichen Fixkosten reduziert werden, ohne dass dabei eine bedeutende Risikoerhöhung in Kauf genommen werden muss

Zusammenfassung

Eine Früherkennung von geologischen und antropogenen Risiken hat sich für den Strassenbetreiber vorwiegend auf Felssturz, untiefe Rutschungen sowie gefährdete Kunstbauten und permanente Hangsicherungen zu konzentrieren. Da sich erhöhte Aktivitäten stets durch Deformationen im Strassennetz manifestieren, betreiben die Strassenwarte des Unterhalts den ersten Frühwarndienst. Grössere, komplexere oder noch ungenügend verstandene Massenbewegungen erfordern eine messtechnische Überwachung und Früherkennung. Automatisierte Frühwarnsysteme kombiniert mit Alarmierungen und Massnahmen sind im Strassennetz mit äusserster Zurückhaltung und nur in kritischen Fällen einzusetzen. Dies deshalb, weil Fehlalarme nicht vermieden werden können und dadurch die Akzeptanz für Einschränkungen bei der betroffenen Bevölkerung stark leidet. Trotz der Bestrebungen das Risiko von Naturgefahren unter Kontrolle halten zu können, müssen alle Beteiligten akzeptieren, dass trotz vielschichtiger Bemühungen stets ein unkontrollierbares Restrisiko zurück bleibt, welches wir auch mit überproportionalem materiellen und finanziellen Aufwand nicht beherrschen werden. Der wiederkehrenden Frage nach dem Zumutbaren Risiko stehen die zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel gegenüber.

Literatur: [1] Schutz gegen Steinschlag, Dr. W. Heierli et.al., Bundesamt für Strassenbau, 1981

Adresse des Verfassers: Ruedi Krähenbühl, Dr. phil. nat
Tiefbauamt Graubünden
Strassenbaulabor
Sägenstrasse 78
7000 Chur