Bull. angew. Geol. Vol. 9/1 Juli 2004 S. 19-35

Temperatur und Kluftwasser als Ursachen von Felssturz

Ruedi Krähenbühl[1]

Stichworte: Temperaturwechsel, Kluftwasserdruck, spröder Gebirgstyp, Felssturz, Monitoring, Extensometer, Ankerkräfte, Frühwarndienst, Risikomanagement, Ursachenanalyse, Entfestigungsprozess, dynamische Ermüdung, Graubünden, Naturgefahren

Zusammenfassung

Eine scheinbare Häufung von Felssturzereignissen im Alpenraum wirft Fragen hinsichtlich deren Verursachung durch ändernde Klimaverhältnisse auf. Statistische Ansätze zur Klärung von Fragen, die in Zeiträumen rezenter geologischer Prozesse stattfinden, sind hierfür kaum geeignet. Nur das Verstehen der gebirgsentfestigenden Prozesse kann fundierte Antworten liefern. Von Literaturbeispielen weiss man, dass sowohl Fälle von Felssturz mit eindeutiger Korrelation zu hohen Niederschlägen auftreten, wie auch solche, wo kein klarer Zusammenhang hergestellt werden kann.

Im Zuge des Risikomanagements von drei kritischen Objekten mit hoher Felssturzgefährdung entlang des Strassennetzes im Kanton Graubünden konnten in den letzten 4 Jahren viele Messdaten gesammelt werden. Zusammen mit detaillierten geologischen Feldaufnahmen, Risikoanalysen und einer intensiven Datenauswertung war es möglich, die massgebenden Prozesse in spröden Gebirgstypen zu erkennen. Durch jährliche Temperaturwechsel verursachte Spannungsäderungen und Kluftwasserdruck sind die treibenden Kräfte für den dynamischen Entfestigungsprozess. Häufig genannte Ursachen wie Eis-, Wurzeldruck, Erdbeben, etc., stellen nur den zufälligen Auslöseprozess für Felsmassen dar, welche durch kontinuierlichen Kohäsionsabbau eine minimale Standsicherheit erreicht haben.

Abstract

In the southern part of Graubünden, south-east Switzerland, engineering geological investigations of three unstable rock slops with high destructive potential for road bridges give a better understanding of the system process of rock slides. Data from monitoring programmes, ongoing since 2001, were analysed. It included different displacement and anchor force measurements, which were integrated in an early warning system. Progressive failure evolution in gneissic brittle rock masses with adverse joint sets is primary the result of physical processes. Rock expansion and contraction caused by the annual temperature changes contribute to fracture nucleation, propagation, cracking of rock bridges and continuous degradation of the rock mass cohesion. This mechanism is recognised to a depth of ~10 m below rock surface, enough to destabilise a few thousand m^3 of rock mass. The measured displacements and growth of anchor forces start annually in September and end in March, when the rock mass begins to expand. The superimposed effect of joint water pressure is only recognised during this period, but not in spring/summer, when the joints are getting closed. Therefore most of the rock fall occurred between September and April. In case the rock mass stability reach the minimum, due to this dynamic fatigue processes, a frost period, a heavy rainfall or an earth quake is sufficient as final triggering mechanism to initiate the rock slope failure.

[1] Tiefbauamt Graubünden, Strassenbaulabor, 7000 Chur, rudolf.kraehenbuehl@tba.gr.ch

1 Felssturz Val d'Infern

In der Südabdachung Graubündens führen auf der einzigen Zufahrtsstrasse vom Misox ins Calancatal zwei Tunnel in kurzer Folge durch zwei Gneisrippen der Simano-/Aduladecke. Dazwischen wird die Störzone des Val d'Infern mit einer 30 m langen Brücke überquert (Fig. 1). Über der Brücke baut sich eine fast 100 m hohe Felswand auf. Die Felsrippe des östlichen Tunnels wird entlang des parallel und senkrecht zum Calancatal streichenden Kluftsystems tiefgreifend entfestigt. Das Tunnelgewölbe ist dementsprechend mit bis auf Faustgrösse geöffneten Rissen zerlegt (Fig. 3). In den letzten 5 Jahren haben sich aus der Felswand jährlich und stets im Herbst Block- und Felsstürze bis maximal 600 m^3 ereignet (Fig. 2). Mit bescheidenen Schutzmassnahmen eines eher hilflosen Steinschlagnetzes und mit viel Glück überstand die Brücke alle bisherigen Ereignisse mit nur leichten Schäden. Das Gros der Sturzmassen fiel durch den wenige Meter breiten Schlupf zwischen Felswand und Brücke oder sprang über letztere hinweg.

Verschiedene in den letzten Jahren vorgenommene geologische Aufnahmen und Risikoanalysen führten zu einer umfassenden, messtechnischen Überwachung, zu der Verifizierung einer latent absturzgefährdeten, kritischen Sturzmasse von ~3'000 m^3, zum Aufbau eines Alarm- und Frühwarnsystems, zur Erkenntnis, dass bereits ein kritischer Treffer eines 2 m^3 Blocks die Brücke zum Einsturz bringen kann, und letztlich zur raschen Projektierung eines 300 m langen Umfahrungstunnels. Ein Brückeneinsturz würde das Calancatal für Monate von der Umwelt abschneiden. Im Mai 2004 wurde mit den Tunnelarbeiten begonnen.

1.1 Geologische Entfestigungsmodelle

Verschiedene geologische Bearbeiter haben zwei unterschiedliche Modelle ausgearbeitet. Das eine postuliert ein auf den mit 40–65° talwärts geneigten K2-Klüften und der Schieferung S1 treppenförmig ausgebildetes Felsgleiten. (Fig. 4). Das andere Modell ging primär von kontinuierlichem Kohäsionsabbau infolge Spannungsumlagerungen in der Felsrippe aus. Diese steigen, ausgehend von der als Knautschzone wirkenden, basalen Störzone, aus Gesteinen geringerer Druckfestigkeit in der ganzen Felsrippe auf. In beiden Modellen öffnen sich die durchschlagenden, als Ablösefläche dienenden K1-Klüfte scherenartig.



Fig. 1: Die Brücke Val d'Infern als Verbindung zweier Tunnels quert eine geologische Störzone.

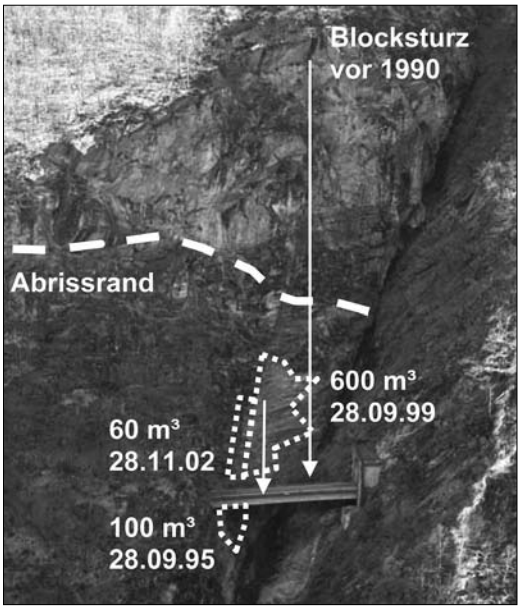


Fig. 2: Seit 1995 ereigneten sich jährlich Block- und Felsstürze.