

Fallbeispiel Nr. 13 : Rutschungen im Tavetscher Zwischenmassiv, Vorderrheintal (Graubünden)

Autor(en): **Lardelli, Tomaso**

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **3 (1998)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Fallbeispiel Nr. 13:

Rutschungen im Tavetscher Zwischenmassiv, Vorderrheintal (Graubünden)

TOMASO LARDELLI*

Zusammenfassung

Das zwischen Aar- und Gotthardmassiv liegende Tavetscher Zwischenmassiv besteht im nördlichen Teil aus bis zu 80 % Kakiriten, d. h. aus Gesteinen mit Lockergesteinseigenschaften. Die ausserordentlich komplexen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse verunmöglichen das Erstellen einfacher, zuverlässiger Baugrundmodelle. Beim Ausbau der Kantonsstrasse zwischen Disentis und Sedrun musste ein Hang mit durchwegs kritischen Stabilitätsverhältnissen gequert werden; in einem Abschnitt erfolgte noch während der Planungsphase eine Rutschung. Kostengünstige Massnahmen waren möglich dank einer engen Zusammenarbeit zwischen Projektingenieur, Geotechniker und Geologe, einer sinnvollen Risikoanalyse und stufenweisen, den geplanten Massnahmen angepassten Untersuchungen. Grundsätzlich wurde die Stabilität leicht erhöht; je nach lokalen geologischen Verhältnissen und Risiko erfolgte dies schwergewichtig mittels Einbringen eines Schubwiderstandes, mittels Drainagen oder einer Kopfentlastung.

1. Ausgangslage und Problemstellung

Seit den 70er-Jahren wird die Kantonsstrasse zwischen Disentis und Sedrun in Teilstücken ausgebaut. Sie verläuft im Abschnitt Ruossna-Crestas-Arschella-Tscheppa am linken Talhang etwa 120 m über dem Vorderrhein durch teilweise offensichtlich instabiles (Crestas-Mulde und Arschella) und teilweise sehr steiles Gelände (Ruossna und Crestas-Hügel). Bautechnisch gesehen war damals der Crestas-Tunnel, auf den sich die geologischen Untersuchungen konzentrierten, das schwierigste Problem. Vor 1983 war nur die Rutschung in der Mulde westlich des Crestas-Hügels (Gebiet A1, Fig. 2) wegen einer Einsenkung des Strassenkörpers evident. Der Ausbau der Strasse schien mit relativ sanften Eingriffen möglich. Noch während der Projektierung ereignete sich aber bei Arschella (Gebiet C, Fig. 2) nach Starkniederschlägen eine Rutschung, welche die Kantonsstrasse und damit die Verbindung nach Sedrun–Oberalppass unmittelbar gefährdete. Dieses Ereignis bedingte aufwendige geologische Untersuchungen und Stabilisierungsmassnahmen, die auf die ebenfalls gefährdete Furka-Oberalp-Bahn (FOB) ausgedehnt wurden.

* Büro für Technische Geologie und Hydrogeologie, Steinbruchstrasse 12, 7002 Chur

2. Geologische Übersicht

Das Gebiet Crestas-Bugnei liegt im Tavetscher Zwischenmassiv (TZM), einem kleinen Massiv, das alpin tektonisch zwischen Gotthardmassiv im Süden und Aarmassiv im Norden eingequetscht ist. Dass das TZM ausserordentlich stark spröd deformiert wurde, ist seit langem bekannt (E. Niggli, 1944). Der Stand der Untersuchungen in den 80-er Jahren hat jedoch gezeigt, dass das Ausmass der Spröd deformation im nördlichen Teil des TZM alle Erwartungen weit übertrifft. Einen Eindruck von der Komplexität des Gebirges vermittelt das schematische Profil (Fig. 1). Nicht klar ist der Verlauf der Grenze TZM–Aarmassiv. Wir gehen davon aus, dass diese Grenze südlich des Bugnei-Granodiorit-Körpers verläuft (vgl. E. Niggli, 1944); dies bedeutet, dass auch ein ausgedehnter Bereich des Südrandes des Aarmassivs intensiv spröd deformiert und mit dem TZM verzahnt wurde (mächtige Kakiritonen im Druntobel oberhalb Sedrun ziehen nördlich des Bugnei-Granodiorites nach ENE). Dolomit-Fragmente in Kakiriten einer Bohrung (SB 60) unterhalb der FO-Bahn bei Arschella sind ein weiteres Indiz für diese These (Fortsetzung der Disentiser Zone?). Die vorwiegend aus Kakiriten (ca. 80%) bestehende Zone ist im Untersuchungsgebiet etwa 500 m mächtig. Im engeren Untersuchungsgebiet findet man anstehenden Fels (stark zerklüftete Schiefer) nur am Crestas-Hügel.

3. Durchgeführte Untersuchungen

Bei den Untersuchungen wurden von Anfang an alle im folgenden aufgeführten Methoden angewandt. Das Ausmass wurde einerseits bestimmt durch das Rutschereignis im Gebiet Arschella im Jahre 1983 und andererseits durch die vorgesehenen Baumassnahmen.

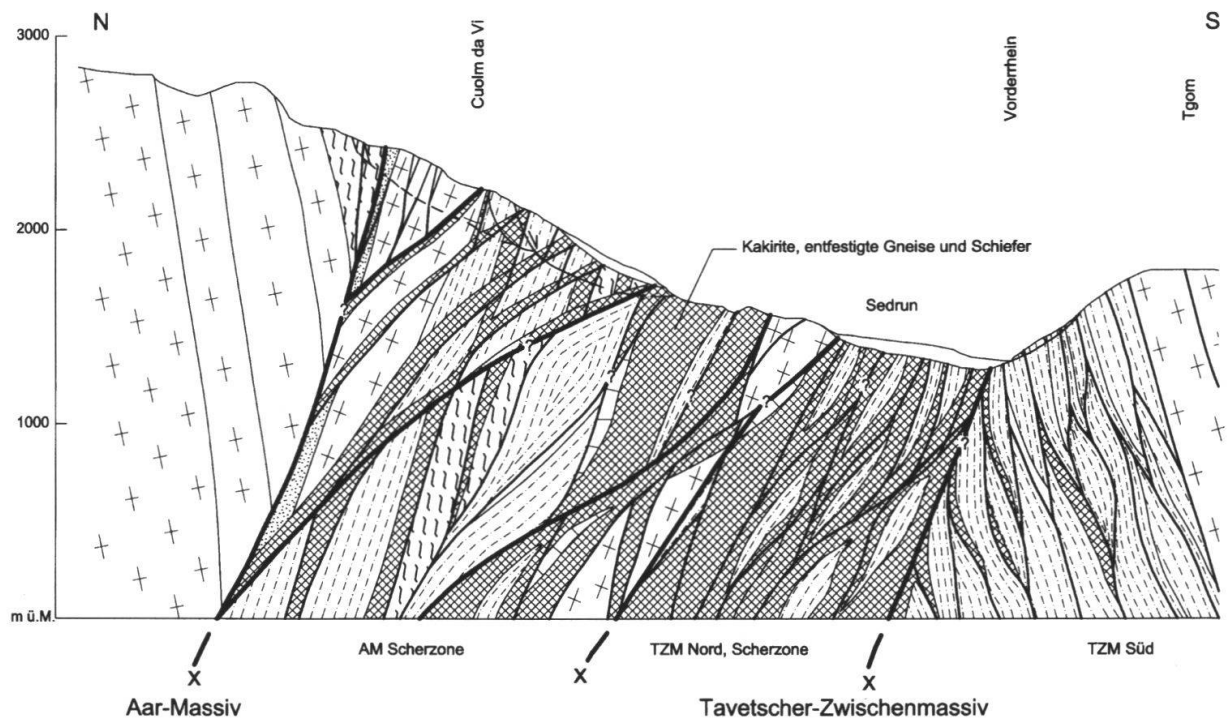


Fig. 1: Schematisches Querprofil durch das Tavetscher Zwischenmassiv (P. Zwahlen, T. Lardelli)

Feldkartierungen und Luftbilddauswertung haben erst zusammen mit den übrigen Methoden Hinweise für das Baugrundmodell geliefert.

Präzisionsnivellemente entlang Kantonsstrasse und FOB (sukzessive erweitert von 1974-1981 auf 3.3 km und 2 km) haben schnell und kostengünstig die wesentlichen Daten zur Abschätzung der Ausdehnung und der Bewegungsgeschwindigkeit der massgebenden Instabilitäten geliefert. Die *geodätischen Messungen* hingegen waren häufig schwer interpretierbar, sofern nicht mit anderen Methoden ein Kriechen der Deckschicht ausgeschlossen werden konnte. Für Untersuchungen wurden 24 *Kernbohrungen*, für Projektoptimierung und Bauwerkskontrollen weitere 21 Kernbohrungen abgeteuft (Länge meist 30-50 m, 1 Horizontalbohrung 80 m); die meisten Bohrungen wurden mit *Inklinometern* und *Porenwasserdruckgebern* ausgerüstet. Die geotechnische Charakterisierung von Fels und Lockermaterialien erfolgte aufgrund von *Laboruntersuchungen* an Proben aus Sondierbohrungen (Klassifikation sowie 7 direkte Scherversuche an Kakiriten). Eine Kontrolle der Laborwerte ermöglichte die Berechnung des Scherfestigkeitsbedarfs natürlicher Erosionsböschungen. Seit 1985 werden Quellen und Drainage-Ableitungen periodisch gemessen.

4. Geologisches Modell

Vom Rhein bis etwa 150 m nördlich der FOB besteht der Fels vorwiegend aus Kakiriten des TZM; nördlich angrenzend folgt der stärker zerklüftete Bugnei-Granodiorit (steil nach Norden einfallende, meist ebene Grossklüfte). Die Kakirite – tektonisch zerriebener Fels mit Lockergesteinseigenschaften – bestehen aus Silt, teilweise leicht tonig, mit mehr oder weniger Kiessand. Da es sich um Fels handelt, ist die Dichte sehr hoch. Die Scherfestigkeit ist relativ hoch (Reibungswinkel $\Phi = 26 - 34^\circ$, Kohäsion $c = 0 - 24 \text{ kN/m}^2$, im Mittel $\Phi = 33^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$). Grobkörniges Moränenmaterial geringer Mächtigkeit (0-20 m) überlagert den Fels; oberhalb der FOB liegt zum Teil blockiger Gehängeschutt auf/in der Moräne.

Nach dem eiszeitlichen Rückzug der Gletscher setzten grossräumig Massenbewegungen (Rutschungen und Sackungen) im TZM ein; für den Bugnei-Granodiorit bedeutete dies eine Hangfussentlastung und führte zu „Toppling“-Bewegungen (Gebiet D, Fig. 2) und zunehmend zu Felsstürzen, die das Gebiet oberhalb der FOBahn erreichten (Anrisse E, Fig. 2). Das Phänomen von „Toppling“-Bewegungen in Kristallingesteinen, verursacht durch Rutschungen des aus Kakiriten bestehenden Hangfusses, ist im übrigen auf der nördlichen Talseite des Tujetsch weit verbreitet; eine der grossen Massenbewegungen der Alpen – am Cuolm da Vi nördlich Sedrun – hat dieselbe Ursache. Die tiefgreifenden Bewegungen stabilisierten sich mit der Aufschotterung der Talsohle durch die riesigen Schuttmassen des Bugnei-Baches.

Die spätere Erosion des Rheins führte wieder zu Instabilitäten im Gebiet Arschella-Tscheppa (Gebiet B, Fig. 2). Diese sind nun aber oberflächlicher Natur; d.h. im allgemeinen liegen die Gleitflächen an der Basis der Moräne. Nur im westlichen, oberen Teil des Gebietes B1 und im Gebiet B2 liegt die Gleitfläche in den Kakiriten. Eine sogenannte Übergangszone aus Kakiriten, Moräne sowie Hangschutt wurde ausgeschieden aufgrund der Interpretationsschwierigkeiten (teilweise handelt es sich nachweislich um ein Rutsch-»Mélange« aus diesen Materialien). Fast

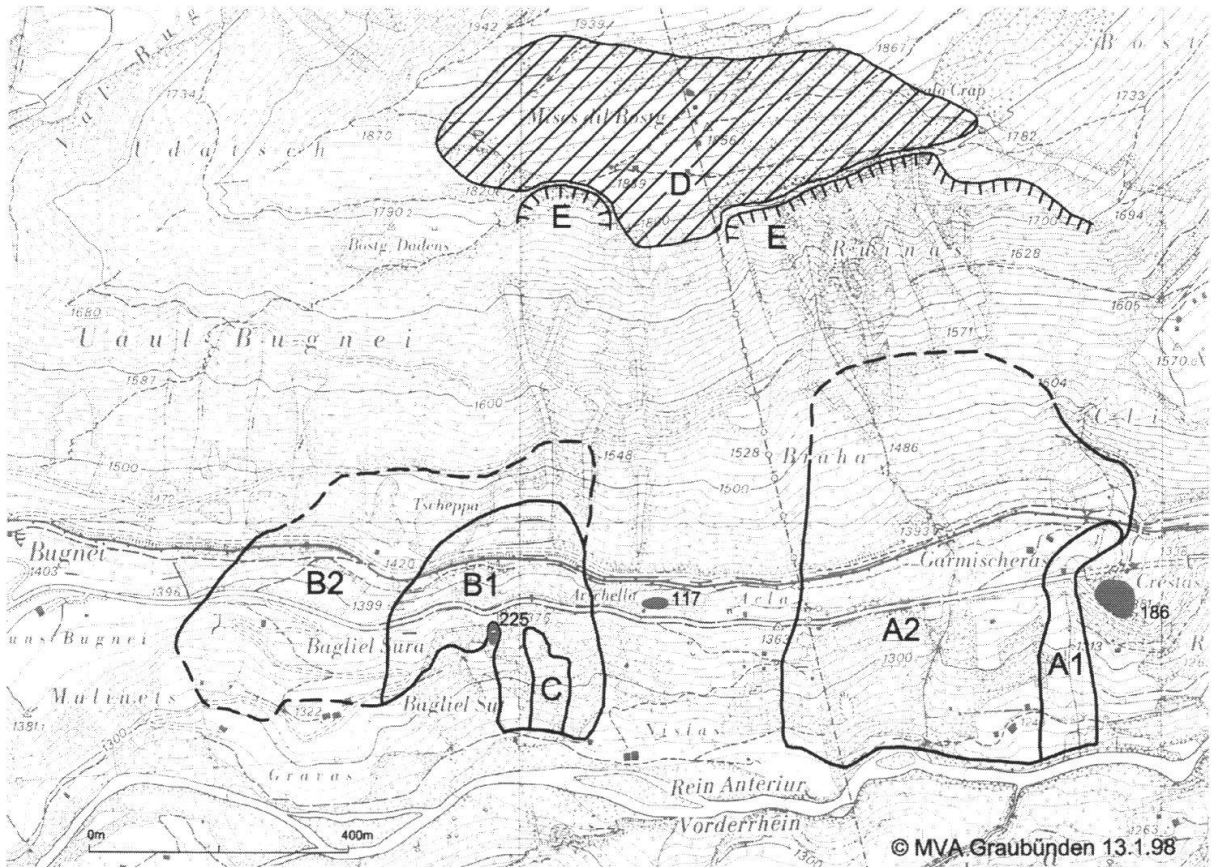


Fig. 2: Die Rutschgebiete im Bereich Crestas - Bugnei (zwischen Disentis und Sedrun); stabile Gebiete Punkte 186, 117, 225.

alle diese aktiven Rutschbewegungen erfolgen in Teilbruchkörpern in der Art des progressiven Bruchs (Fig. 5). Die Bewegungsgeschwindigkeiten betragen in den Gebieten A1 und B1 (vor 1983) 15 - 30mm/J, in den übrigen Gebieten wenige mm/J.

Zusätzlich zu den alten, heute inaktiven Massenbewegungen und den heute aktiven Rutschungen muss noch eine Kriechbewegung der Deckschicht von mehreren mm/J berücksichtigt werden, die weiträumig sehr häufig auftritt und die Interpretation der geodätischen Messresultate erschwert.

Die hydrogeologischen Verhältnisse sind entsprechend den geologischen sehr komplex: relativ gut durchlässig sind die Moräne, Bereiche innerhalb der Übergangszone und im Fels die zerbrochenen Gneise und Schiefer; sehr schlecht durchlässig sind die Kakirite. Die verwirrenden Resultate der vielen Porenwasser-Druckmessungen, der Messungen der Drainagen und Quellen sowie der Beobachtungen beim Bohren (meist trocken gebohrt!) widerspiegeln die komplexe Geologie. Im allgemeinen verlaufen die Bewegungen in den Rutschmassen gleichförmig – wobei ein Vorbehalt gemacht werden muss aufgrund der Messintervalle und Messgenauigkeiten. Starkniederschläge können massive Bewegungsschübe bewirken, wobei dies gerade bei den stärksten gemessenen Niederschlägen nicht der Fall war!

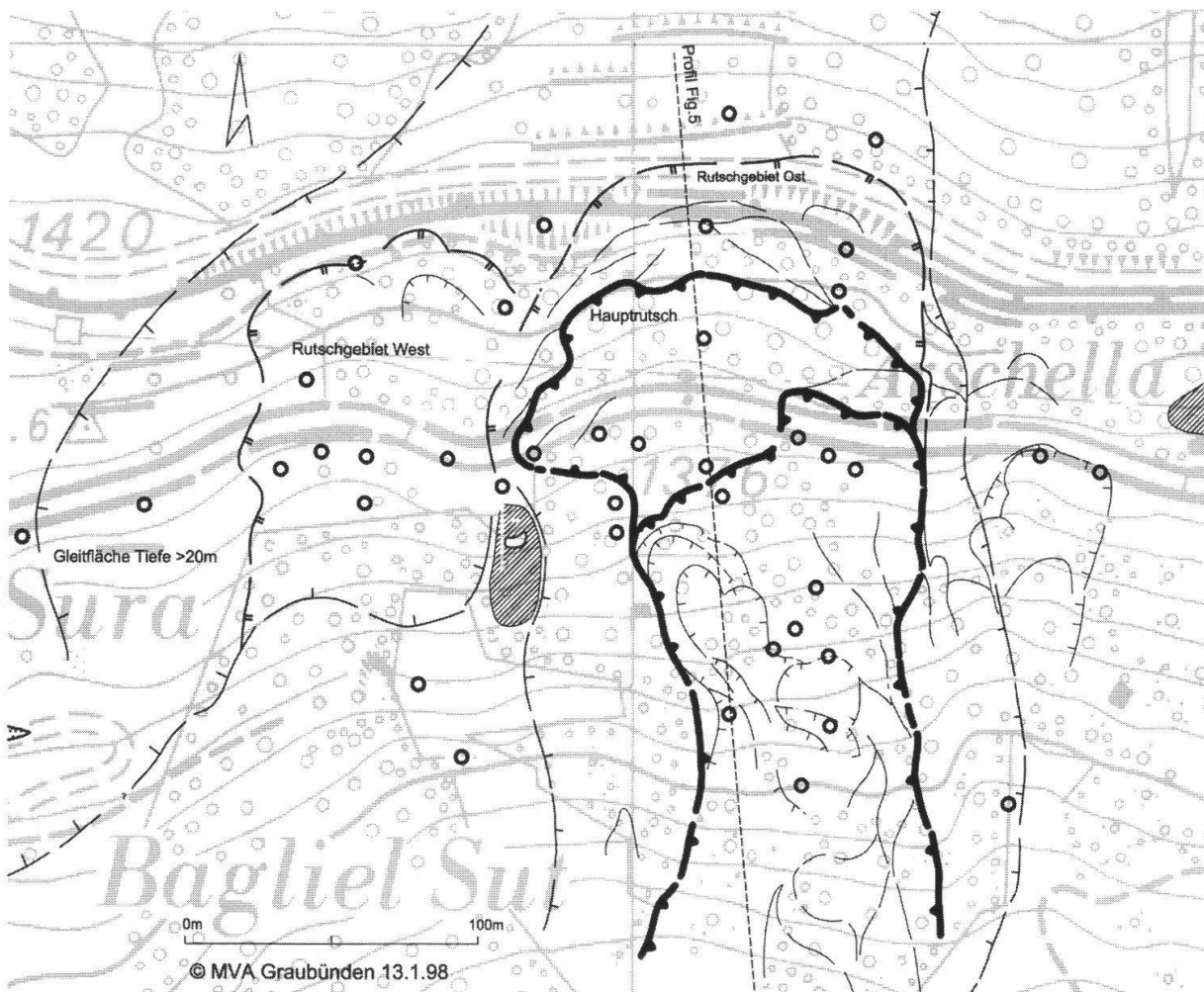


Fig. 3: Das Rutschgebiet Arschella (Gebiet B1, Fig. 2): Anrisse und Lage der Sondierbohrungen (Kreise); gesichert ruhiges Gebiet schraffiert.

5. Unvorhergesehene Ereignisse

Im Frühjahr 1983 erfolgte nach Schneeschmelze und stärkeren Niederschlägen bei Arschella (Fig. 2, Gebiet C) eine Hangmure mit dem Ausbruch einer neuen, nur wenige Tage mit mehreren l/s schüttenden Quelle; das Gebiet oberhalb rutschte schnell nach. In der Folge beschleunigten die Bewegungen im Ostteil des Gebietes B1 auf bis über 250mm/J (progressiver Bruch) und es bildeten sich zahlreiche Anrisse (Fig. 3). Dieses Ereignis zeigte anschaulich die geringen Stabilitätsreserven des Hanges. Merkwürdig ist die neue Quelle: In keiner Bohrung in der Nähe wurden relevante Porenwasserdrücke gemessen und eine im unteren Teil der Böschung angesetzte, 80 m lange Drainagebohrung hat nie mehr als wenige l/min Wasser gefördert!

6. Risikoanalyse

Im Gebiet Arschella (Fig. 3) wurden verschiedene Sanierungsvarianten aufgrund der geologischen Kenntnisse geprüft (Risikoabschätzung des Preisgerichtes aufgrund eines Ideenwettbewerbs):

- Brücken: Das Restrisiko unvorhergesehener Instabilitäten, die Schwierigkeit, in einem solchen Fall den Verkehr wieder sicherzustellen und die Kosten sprachen gegen diese Varianten; die FOB wäre nicht saniert.
- Tunnel (400-500 m): Sehr hohe Kosten in diesem gebrächen bis druckhaften Gebirge; FOB wäre nicht saniert.
- Hangsanierung mittels Hangfussanschüttung (über 300'000 m³): Aufgrund der relativ hohen Kosten, des grossen Eingriffs in die Landschaft und der Unwirksamkeit für untiefe Rutschungen im oberen Hangteil (Strasse und Bahn) wurde diese Variante verworfen.
- Hangdrainage: Aufgrund der sehr komplizierten und undurchsichtigen hydrogeologischen Verhältnisse sowie der sehr schlechten Durchlässigkeit der Kakirite wäre selbst bei einer systematischen Drainage bis in eine Tiefe von 20-30 m und entsprechend relativ hohen Kosten der Erfolg unsicher gewesen (teilweise ausgeführt als flankierende Massnahme).
- Hangsanierung mittels Ankern und Pfählen und «weicher» Ausbau der Strasse: Kosten und Flexibilität haben diese Lösung als diejenige erscheinen lassen, die die geringsten Risiken birgt (Ausführungsvariante).

7. Massnahmen und Erfolg

Crestas-Mulde (Gebiet A1, Fig. 2):

- Oberflächendrainage der Mulde auf der Oberfläche der Kakirite (hier unteuf!)
- Kopffentlastung durch grossen Abtrag der Böschung nordwestlich der Mulde
- Drainagewirkung des Crestas-Tunnels und dessen Voreinschnitt
Die Vermessung zeigt, dass dieses Gebiet heute stabil ist (früher 5-30 mm/Jahr); wichtig ist dies insbesondere für das Tunnelportal West des Crestas-Tunnels.

Garmischeras (Gebiet A2, Fig. 2): Infolge der geringen Bewegungsbeträge drängt sich eine Sanierung nicht auf. Studiert werden Massnahmen wie im Gebiet B zur leichten Erhöhung der Stabilitätsreserven (sehr kleine Rutschungen am Hangfuss deuten auf geringe Stabilitätsreserve).

Arschella (Gebiet B1+C, Fig. 2): Das Sanierungskonzept (Ingenieurbüro Dr. Voll-enweider, Zürich) bestand darin, mit Ankern und zurückverankerten Pfählen einen Schubwiderstand in den Hang zu bringen, der die Gleitsicherheit um ca. 10% erhöht. Der Erfolg wird mit Messungen geprüft (Inklinometer, Geodäsie). Voraussetzung war eine sehr detaillierte geologische Untersuchung, damit die Pfahl- und Ankerlängen der Tiefe der Teilbruchkörper-Gleitflächen angepasst werden konnten, und der Schubwiderstand den bewegten Massen.

Entsprechend der in Teilbruchkörper aufgelösten Struktur der Rutschung wurden die Massnahmen im Hang gestaffelt angeordnet (Fig. 4+5):

- Rensenverbau mit Steinkörben zuunterst (Hangmure 1983)
- Ankerplatten mit Ankern im untersten Hangteil
- 2 verankerte Pfahlwände unterhalb Kantonsstrasse und FOB (Steinkorbmauer zur Sicherung der Baupiste)
- Sofern aufgrund der Sondier-, Anker- und Pfahlbohrungen ein Erfolg absehbar war, wurden Drainagebohrungen ausgeführt.
- Zur Sicherung gegen Steinschlag wurden oberhalb der FOB Steinschlagwälle errichtet.
- Grünverbau und Aufforstung des ganzen Hanges

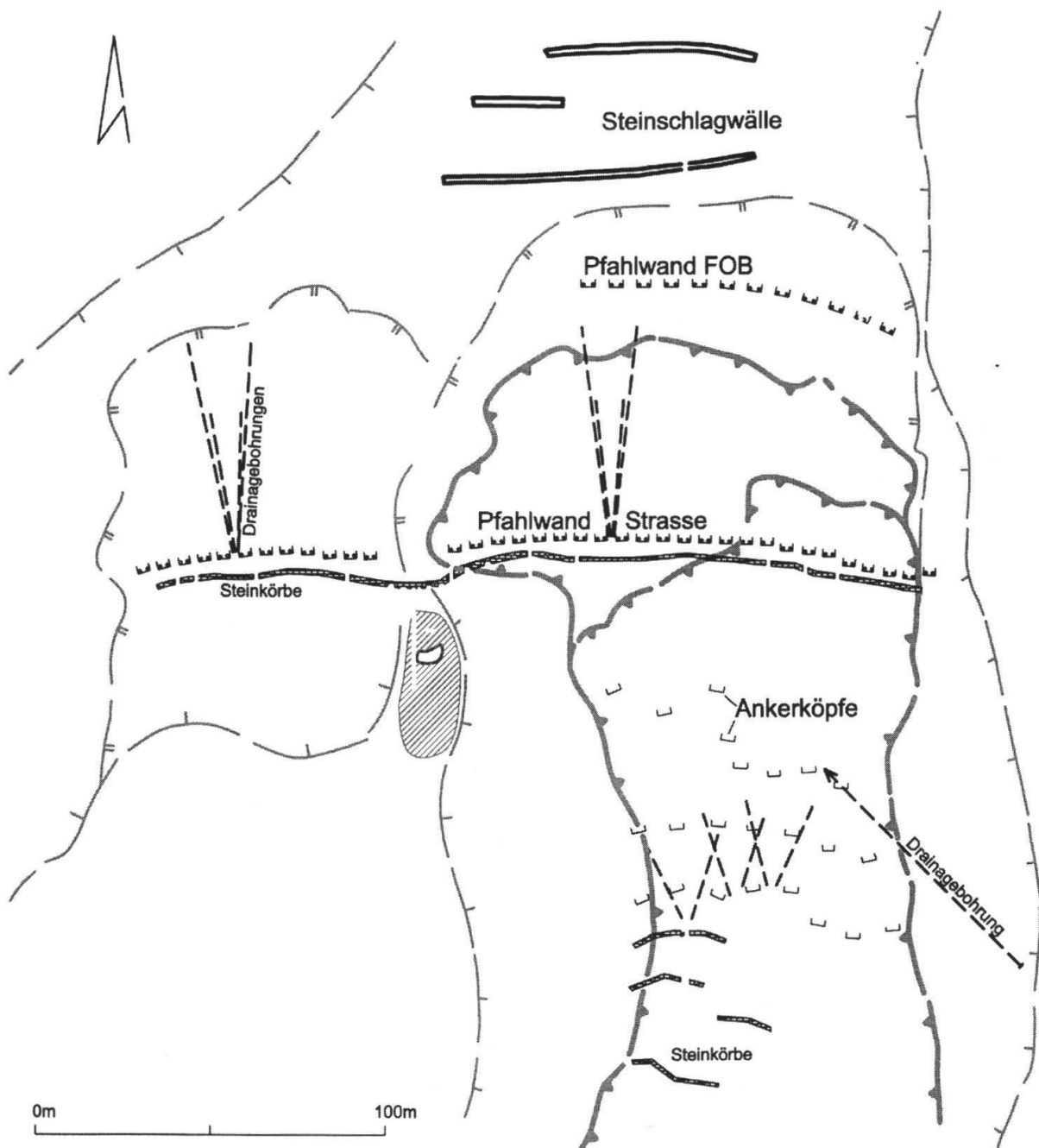


Fig. 4: Bauliche Massnahmen im Gebiet Arschella (B1, Fig. 2).

Mit diesen 1990-92 durchgeführten Massnahmen wurde die Rutschung weitgehend stabilisiert (0 - 2.5mm/J). Nach wie vor in Bewegung sind Teilbruchkörper mit relativ tiefen Gleitflächen im westlichen, oberen Teil des Gebietes B1 und das Gebiet B2 (ca. 5mm/J); die ausgeführten Werke werden – zumindest vorläufig – durch diese Teilbruchkörper nicht belastet. Rutschung und Bauwerk werden weiter überwacht, sodass bei Bedarf zusätzliche Schubwiderstände eingebracht werden können.

8. Schlussfolgerungen

Einige Erkenntnisse aus den Untersuchungen im Raum Crestas-Bugnei verdienen besondere Beachtung:

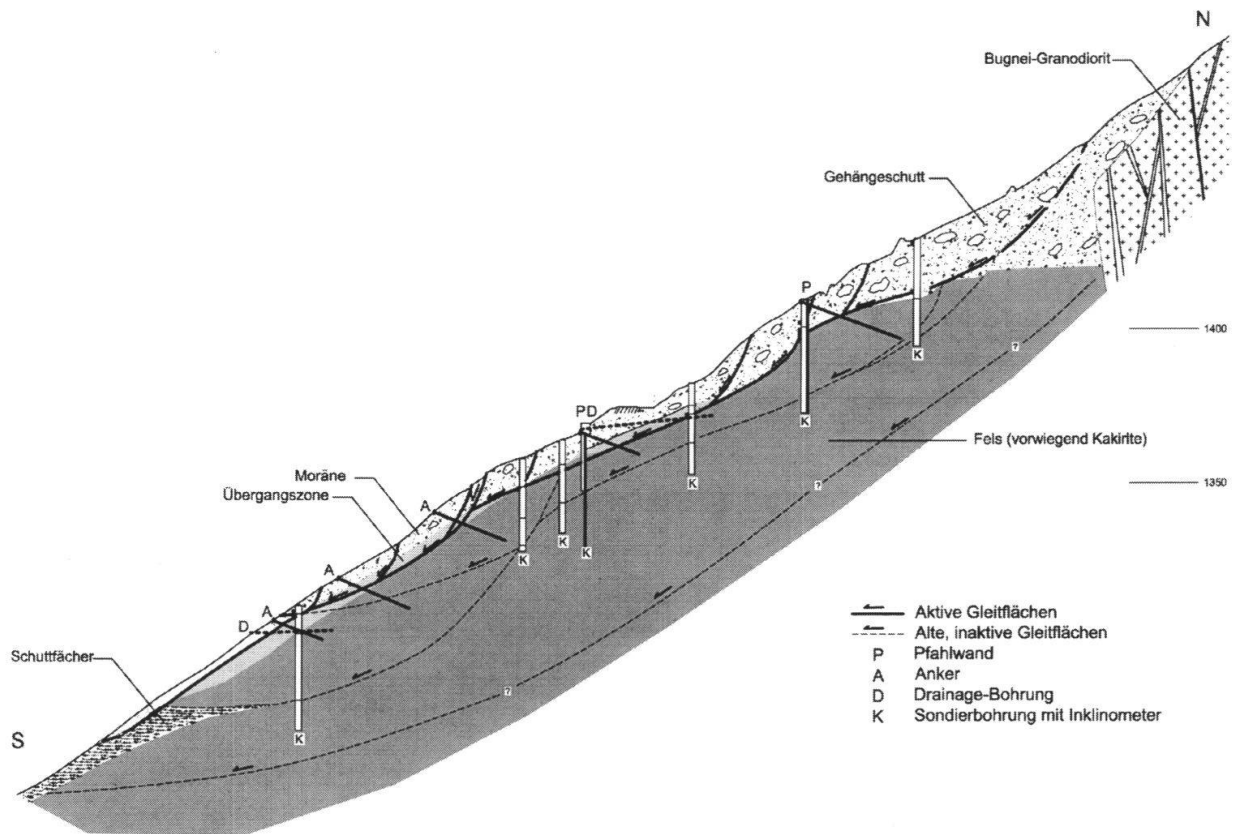


Fig. 5: Profil durch die Rutschzone Arschella (Profilsur vgl. Fig. 3).

Geologie: In von Quartär bedeckten Gebieten sind auch in der geologisch gut untersuchten Schweiz noch Überraschungen möglich (gewaltige Verbreitung der Kakirite im TZM). Die Quartärgeologie ist vor allem in alpinen Gebieten noch sehr lückenhaft bekannt. Erst geologische Untersuchungen bewahren vor Fehlschlüssen.

Rutschungen: Komplexe Rutschungen lassen sich nur mit einem beträchtlichen Aufwand auf für den Geotechniker brauchbare, einfache Baugrundmodelle reduzieren. Brauchbar heisst, dass die bauwerksabhängigen Risiken abschätzbar sind.

Risikoanalysen müssen in enger Zusammenarbeit zwischen Projektierenden, Geotechnikern und Geologen erfolgen. Dabei sind Gespräche fruchtbarer als lange Berichte. Im vorliegenden Fall haben die Risikoanalysen zu aufwendigen Untersuchungen, schlussendlich aber zu beträchtlichen Einsparungen geführt – bei optimalem Risiko/Nutzen-Verhältnis.

Literatur:

NIGGLI E. 1944: Das westliche Tavetscher Zwischenmassiv und der angrenzende Rand des Gotthardmassivs. – Schweiz. Mineral. Petr. Mitt. 24/1-2.

Übersichtspläne in den Figuren reproduziert mit Bewilligung des Meliorations- und Vermessungsamtes des Kantons Graubünden vom 13.1.98.