Münger, R.; Rageth, R.: Die Geologie des Gotschna-Rutschhanges. Strasse und Verkehr, Nr. 5, Mai 1994.

Die Geologie des Gotschna-Rutschhanges

Ruedi Münger, dipl. Natw. ETH, Geologe, Baugeologie Chur
Riet Rageth, dipl. Natw. ETH, Geologe, Baugeologie Chur

Der Gotschna-Hang in der südwestlichen Talflanke bei Klosters im hinteren Prättigau besteht auf über 5 km² aus einer aktiven Rutschung. Die Deformationen an der Oberfläche betragen stellenweise bis zu 7 cm/Jahr. 1983 begannen die Planungs- und Projektierungsarbeiten für einen Tunnel in diesem Hang zur Umfahrung von Klosters. Es stellte sich die Frage, ob – und gegebenenfalls wie – ein Strassentunnel durch den 3 km breiten Rutschhang geführt werden kann. Das Resultat der geologischen Abklärungen und entsprechender Projektanpassungen ist eine Linienführung, welche den Rutschbewegungen bergseits ausweicht. Die Untertagbaustrecke des Tunnels wird vollständig im stabilen Fels liegen. Es sind zwei tektonische Deckengrenzen zu durchfahren. Bautechnisches Haupthindernis werden mehrere Meter – nahe des Ostportals gar mehrere Zehnermeter – mächtige Kakirite sein, die zudem teilweise unter hohem Bergwasserdruck stehen. Der für die Rhätische Bahn 1994 aufzufahrende Zugwaldtunnel, ebenfalls im Gotschna-Hang, zwischen Klosters-Platz und Selfranga, wird wertvolle zusätzliche Erkenntnisse über die Geologie des Gotschna-Hanges liefern. R.M. + R.R.

Einleitung

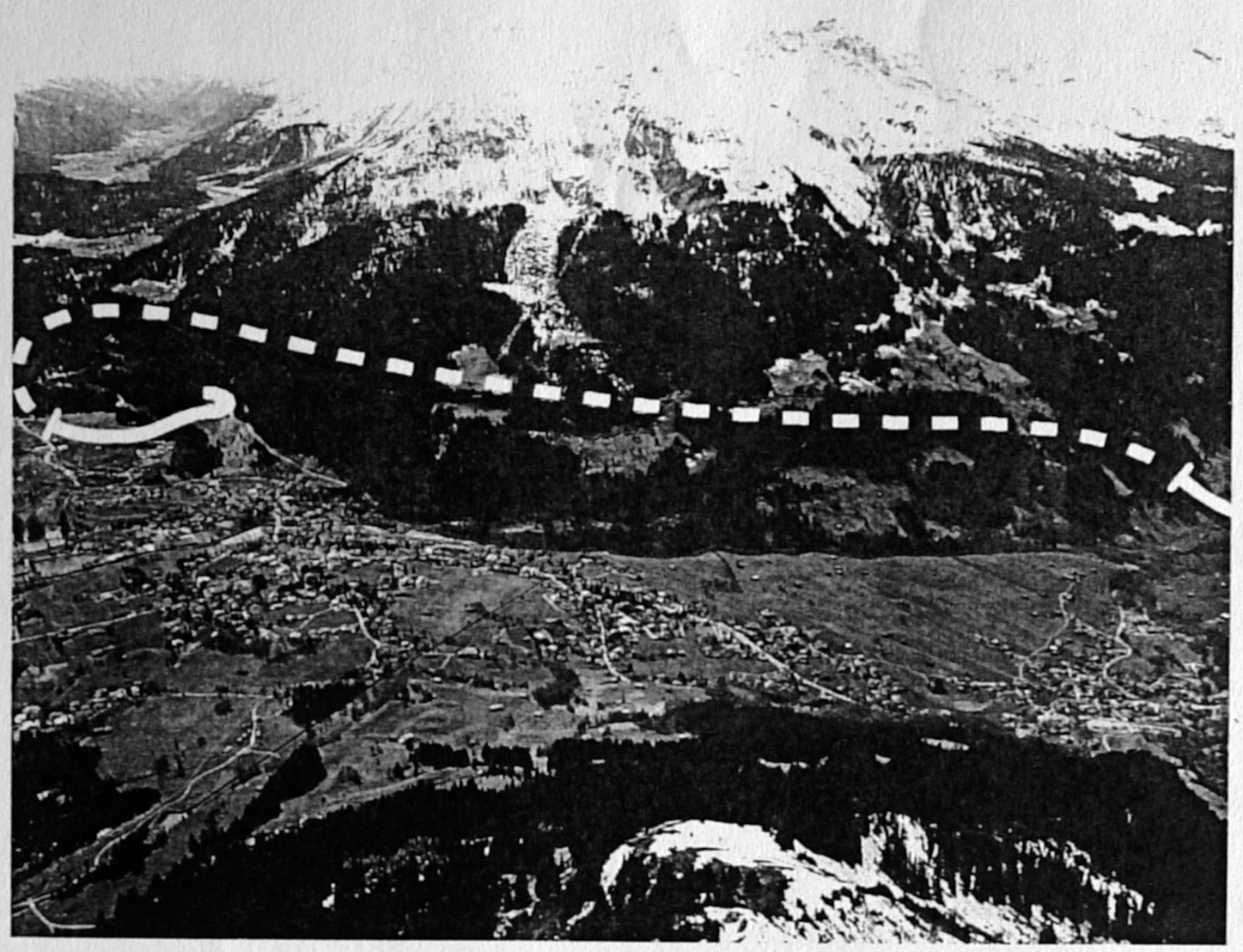
Der rund 6,2 km lange Abschnitt der projektierten Prättigauerstrasse zwischen den Anschlüssen Klosters-Dorf, im Gebiet Büel, und Klosters-Selfranga/Vereina, in Selfranga, wird gegenüber der bestehenden Kantonsstrasse ein vollständig neues Trassee erhalten. Die Umfahrung von Klosters besteht aus der 540 m langen Sunnibergbrücke und dem 4530 m langen Gotschna-Tunnel. Dieser ist unterteilt in zwei Tagbaustrecken – beim Westportal im Drostobel (200 m) bzw. beim Ostportal in Selfranga (100 m) – und in die bergmännisch aufzufahrende Strecke (4,2 km).

Einfluss der Geologie auf die Entwicklung der Linienführung

Die Gotschna-Rutschung war ein Hauptgrund dafür, dass bis Anfang der achtziger Jahre zur Lösung der Verkehrsprobleme im Raum Klosters ein in der südwestlichen Talflanke zu erstellender Strassentunnel nicht ernsthaft in Erwägung gezogen worden war. Eine grossräumige Stabilisierung der Rutschung, mittels Entwässerung oder durch das Einleiten rückhaltender Kräfte, muss als nicht realisierbar beurteilt werden.

1983 liefen die geologischen Abklärungen bezüglich der Machbarkeit eines Strassentunnels im Gotschna-Hang an. Vom Bauherrn, dem Tiefbauamt des Kantons Graubünden, war zu Beginn der Abklärungen vorgegeben worden, dass ein Tunnel nur dann realisiert werden kann, falls die Untertagstrecke nicht von den «unaufhaltbaren» Gleitbewegungen der Gotschna-Rutschung tangiert wird. Aufgrund der damaligen Kenntnisse über die Ausdehnung der Rutschmasse war bereits klar, dass ein Tunnel deutlich länger wird als es für die eigentliche Umfahrung von Klosters erforderlich wäre. Denn schon damals belegten Daten des Vermessungs- und Meliorationsamtes Graubünden (seit 1930) und mehrerer Vermessungskurse der ETH Zürich (seit den fünfziger Jahren) aktive Bewegungen des ganzen Hanges. Mit der Auflage stabiler Portalstandorte kam im Westen nur das Drostobel in Frage. Im Osten, bei Selfranga, suchte man anfangs grösserräumig nach stabilen Einstichpunkten für den Tunnel.
Mit dem Ziel, die geologische Machbarkeit des Tunnels zu belegen, wurden bis 1987 in den beiden Portalbereichen mehrere Bohrungen abgetieft. Im zentralen Tunnelbereich wurde mittels Refraktionsseismik die Felsgrenze abgetastet.
Mit dem Auflageprojekt 1989 konnte eine Linienführung vorgelegt werden, bei welcher die gesamte Untertagbaustrecke im Fels lag. Der Tunnel unter- bzw. hinterfährt den gesamten aktiven Bereich der Gotschna-Rutschmasse. Alle bisherigen Untersuchungen ergaben eine, im Vergleich zur flächenmässigen Ausdehnung geringe Mächtigkeit des Gleitkörpers von maximal etwa 100 m.
Abgestützt auf die Ergebnisse der

Le versant de Gotschna, situé sur le flanc sud-ouest de la vallée près de Klosters dans le Prättigau inférieur, consiste en un terrain avec un glissement actif sur plus de 5 km². Les déformations en surface atteignent par endroit jusqu'à 7 cm/an. C'est en 1983 que débutèrent les travaux de planification et de projet pour un tunnel dans ce versant pour le contournement de Klosters. La question se posait si – et le cas échéant comment – un tunnel routier traversant un glissement large de 3 km pouvait être exécuté. Le résultat des investigations géologiques et des modifications correspondantes du projet a conduit à un tracé situé dans la montagne, évitant la zone du glissement en mouvement. Le tronçon du tunnel construit en souterrain sera entièrement dans la roche stable. Il s'agit de traverser deux limites tectoniques de nappes. L'obstacle principal au point de vue de la construction sera la traversée d'une formation de kakirite épaisse de plusieurs mètres – près du portail Est même sur plusieurs dizaines de mètres – se trouvant, de plus, sous une haute pression d'eau. Le tunnel de Zugwald, exécuté pour les Chemins de fer Rhétiques et commencé en 1994 entre Klosters-Platz et Selfranga, permettra de mieux connaître la géologie du versant de Gotschna. C.S.



1: Luftaufnahme des Gotschna-Hanges von Nordosten (am rechten Bildrand: unten Klosters-Dorf, oben das Drosstobel, am linken Bildrand: unten Klosters-Platz, in der Mitte Selfranga, oben Davos).

Bohrungen, der Refraktionsseismik, der Geodäsie und der Bohrlochvermessungen ist für dieses Trassee gesichert, dass der Tunnel von der Instabilität des Gotschna-Hanges unbeeinflusst bleiben wird. Mit den Anschlussbauwerken bei Selfranga kann den aktiven Bereichen des Rutsches nicht vollständig ausgewichen werden. Hier sind bei den Kunstbauten konzeptionelle und konstruktive Vorkehrungen erforderlich.

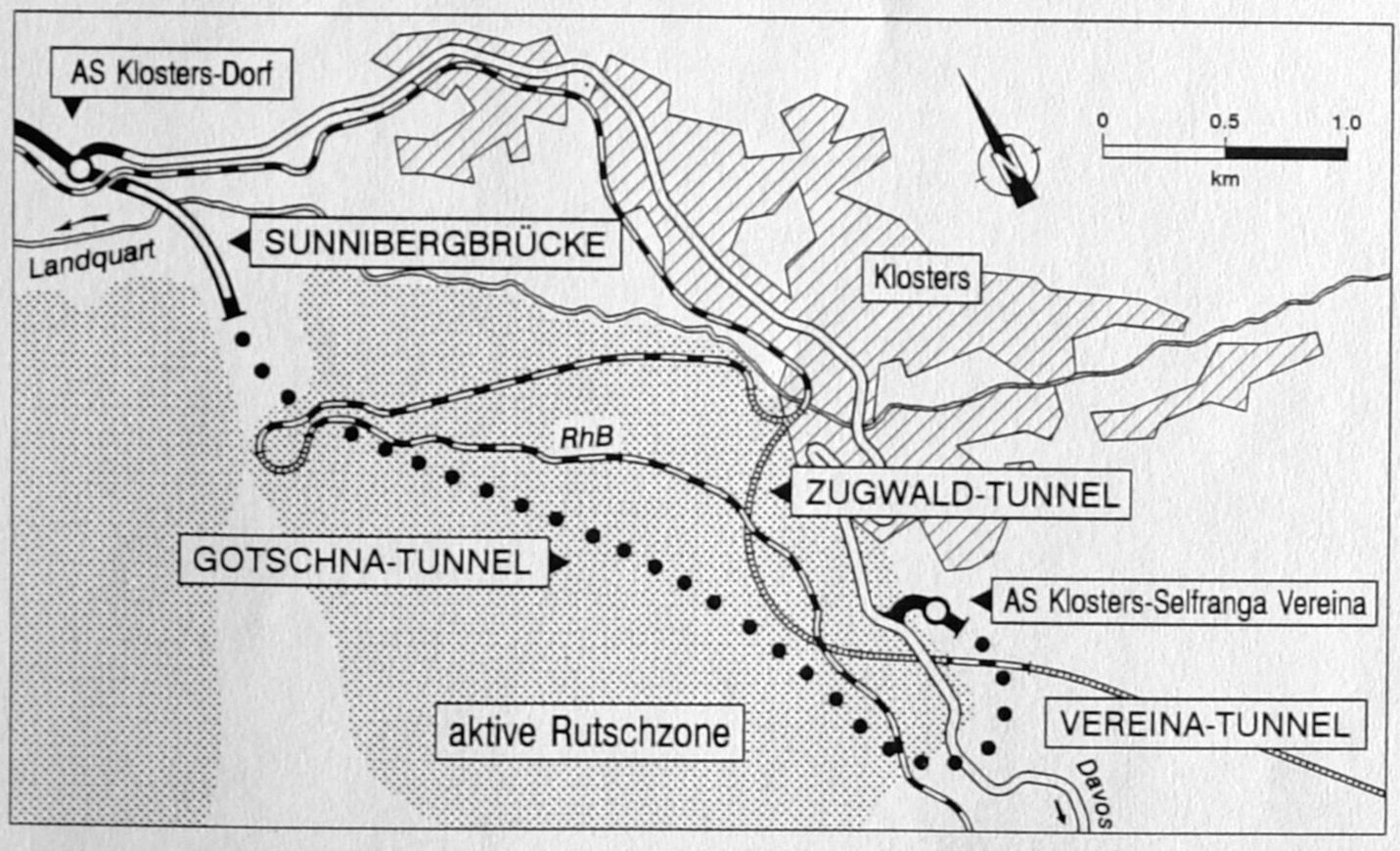
Umfang der geologischen Untersuchungen

Zwischen 1983 und 1993 wurden im Abschnitt Büel-Selfranga mehrere Bohrkampagnen ausgeführt. Ein Drittel der Bohrungen liegt auf inzwischen nicht mehr aktuellen Projekt- bzw. Tunnelachsen, ein Sechstel auf der definitiven Tunnelachse des Auflageprojekts Büel-Selfranga 1991, je ein Viertel in den Anschluss- und Portalbereichen Büel/Drostobel bzw. Selfranga. Die Gesamtbohrlänge beträgt gut 3000 m. Es wurden fast ausschliesslich flachgründige, lotrechte Rotationskernbohrungen ausgeführt. Mehr als zwei Drittel der bergmännischen Strecke weisen eine Überdeckung von über 200 m auf. Im zentralen Tunnelbereich gelangten deshalb nur zwei tiefe Bohrungen (321 m bzw. 364 m) zur generellen Erkundung der Felsbeschaffenheit und der Lage der tektonischen Deckengrenzen zur Ausführung.

Insgesamt wurden nahezu 2000 m[1] Deformationsmessrohre eingebaut. In 35 meist flachgründigen Bohrungen erfassen sie Tiefenlage und Bewegungsgeschwindigkeit der Gotschna-Rutschung sowie lokaler Instabilitäten. Mehrheitlich gelangte das Slope-Indicator-System zur Anwendung, welches die Erfassung von Deformationen radial zur Rohrachse erlaubt. Teilweise wurden Trivec-Rohre eingebaut, in denen zusätzlich auch axiale Rohrverformungen gemessen werden können. Im Hangfussbereich musste mit ansteigenden Gleitflächen gerechnet werden. Dies infolge einer Stauchung der Rutschung an der stabilen Talfüllung (Abbildung 4). Ein lotrecht versetztes Messrohr reagiert auf eine aufwärts gerichtete Gleitbewegung mit einer Dehnung, was in mehreren Trivec-Rohren nachgewiesen werden konnte.

Zur Beobachtung des (teilweise gespannten) Hangwassers wurden über 70 Mehrstufen-Piezometer, 10 Glötzl-Wasserdruckgeber sowie einzelne Zwei-Zoll-Piezometer installiert.

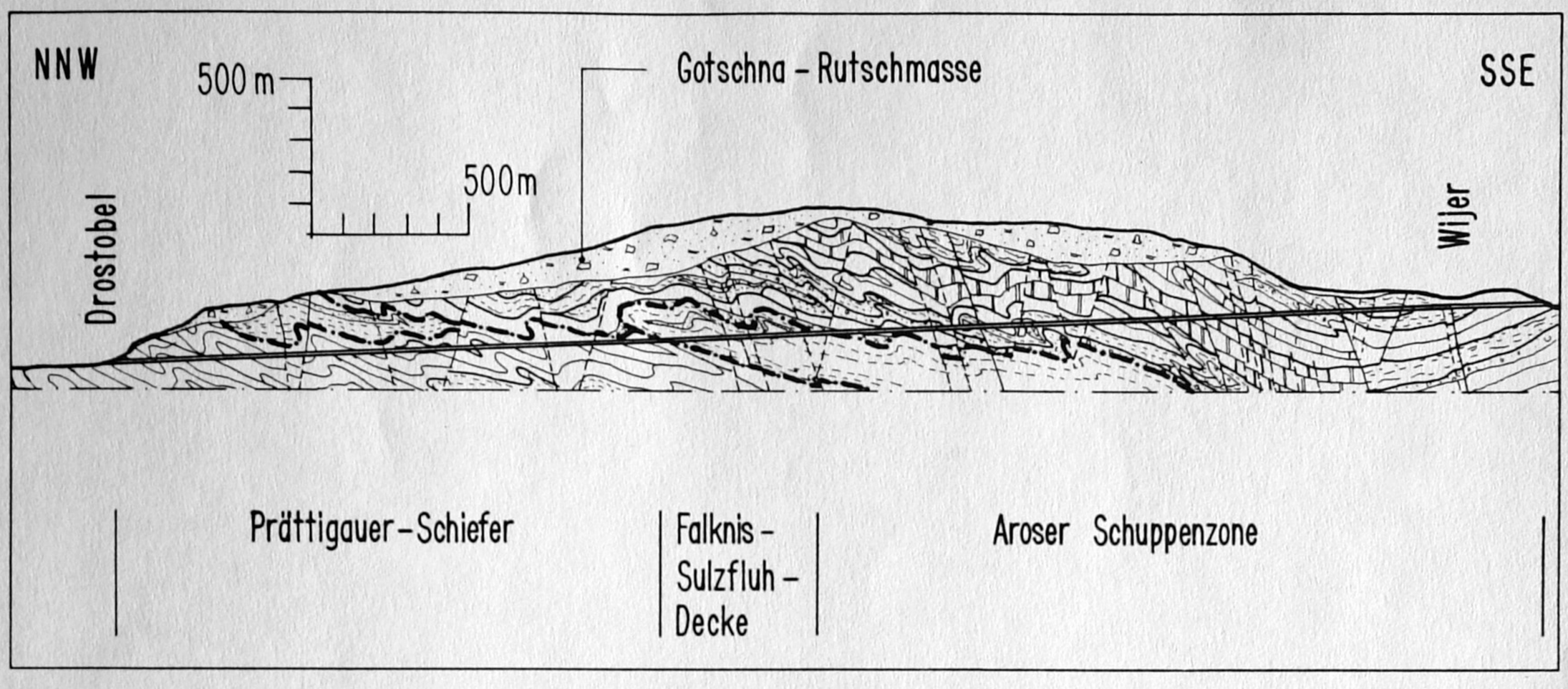
Sämtliche Köpfe der Deformationsmessrohre und etwa 50 zusätzliche Oberflächenpunkte wurden bisher jährlich geodätisch eingemessen. Ab 1990 erfolgte die Vermessung satellitenunterstützt (Einsatz des GPS).



2: Der Strassentunnel Gotschna und die Bahntunnels der RhB im Bereich der Gotschna-Rutschzone.

Auswertung der geologischen Informationen aus dem RhB-Zugwald-Tunnel

Der Zugwald-Tunnel der Rhätischen Bahn wird als Zubringer vom Bahnhof Klosters-Platz zum Vereina-Verladebahnhof Nord bei Selfranga führen. Zurzeit erfolgt der maschinelle Ausbruch der Felsstrecke. Es steht eine TBM mit einem Schneidrad-Durchmesser von 7,6 m im Einsatz.



3: Gotschna-Tunnel, geologisches Längenprofil (Prognose).

Dieser Tunnel wird sich – bei 40 m Versatz in der Höhe – der Achse des künftigen Gotschna-Tunnels seitlich bis auf 10 m annähern. Auch er wird, analog dem Gotschna-Tunnel, von den Prättigau-Schiefern durch die Falknis-Sulzfluh-Decke in die Basis der Aroser Schuppenzone führen, jedoch auf einem kürzeren und steileren Trassee. Durch die Annäherung der beiden Projektachsen ergibt sich die Möglichkeit – falls notwendig – aus dem Bahntunnel heraus, mit relativ geringem Aufwand, Sondierungen in Richtung des künftigen Strassentunnels auszuführen.
Über eine Länge von gut 1 km werden die Erfahrungen beim mechanischen Vortrieb dieses Bahntunnels relevante geologische Informationen für den Strassentunnel liefern. Die Aussagekraft der geologischen Prognose des Gotschna-Tunnels kann dadurch bedeutend erhöht werden.

Geologische Übersicht

Fels

Der Gotschna-Tunnel wird voraussichtlich Gesteine von drei tektonischen Einheiten durchfahren. Beim tiefergelegenen Westportal, im Drostobel, stehen penninische Flyschserien der Prättigau-Schiefer an. Es ist wahrscheinlich, aber ungesichert, dass im zentralen Tunnelbereich Gesteine der Falknis-Sulzfluh-Decke angetroffen werden. In Selfranga, dem Gebiet des Ostportals, steht die Basis der Aroser Schuppenzone an.
Zwei junge Bruchsysteme durchziehen die Gesteine im Gotschna-Hang. Diese Störungen streichen Nord–Süd bzw. Ost–West und fallen grösstenteils steil ein.

Gotschna-Rutschmasse

Die südwestliche Talflanke, zum Gotschna-Grat hinauf, besteht aus einer rund 3 km breiten und 2 km langen aktiven Rutschung (Abbildung 1). Die Verschiebungsgeschwindigkeit an der Oberfläche beträgt im zentralen Bereich bis zu 7 cm/Jahr. Die Geschwindigkeit der Rutschbewegung ist, mit meist unscharfen Übergängen, örtlich unterschiedlich.
Das Bohrgut der Rutschmasse sieht auf den ersten Blick einer Grundmoräne sehr ähnlich. Die Lagerungsdichte ist zudem meist hoch. Bei den Bohrkernen fällt eine «stratigraphische» Gliederung auf. Das Bohrgut besteht schichtweise aus Komponenten nur einer lithologischen Einheit oder zumindest überwiegt eine Lithologie klar. Die Mächtigkeit dieser Schichten variiert, von wenigen Dezimetern bis zu mehreren Metern. Die petrographische Analyse ergab eine ausschliessliche Herkunft aus der Aroser Schuppenzone (v.a. Kalk-Tonschiefer, Dolomit, sandige Kalke, rote Tonschiefer). Weil (glazial transportierte) Komponenten aus der Silvretta-Decke fehlen, kann eine ausschliessliche Herkunft des Materials der Rutschmasse aus dem Gotschna-Hang abgeleitet werden.
Die Rutschung wird teilweise von einem Dolomit-Bergsturz bedeckt. Zwei Bohrungen zeigen, durch ein Auffahren der Rutschung auf sich selbst – entlang einer sekundären Gleitfläche – eine örtliche Verdoppelung auf.
Bei der geotechnischen Materialbeurteilung herrschen tonige und siltige Kiese und Sande mit kleiner Plastizität vor. Blöcke sind, ausser im Dolomit-Bergsturz, selten.
Eine Bohrung der RhB, abgetieft aus ihrem bestehenden Tunnel beim Bahnhof Klosters-Platz, belegt im Hangfussbereich das Überfahren der Landquart-Alluvionen durch die Rutschmasse um mindestens 200 m.

Talfüllung

Im Raum Klosters breiten sich nordöstlich der Landquart die grossen Schlappinbach- und Talbach-Schuttfächer aus, auf denen sich Klosters-Dorf bzw. -Platz ausbreiten. Bei Selfranga liegen die nördlichsten «Spritzer» des Serpentinit-Bergsturzes von der Totalp oberhalb Davos-Wolfgang. Moräne des Silvretta- bzw. des Flüelagletschers wurde in den meisten Bohrungen, eingeschaltet zwischen Felsgrenze und Gotschna-Rutschung, aufgeschlossen. An der Oberfläche ist das Gebiet bei Selfranga grösstenteils von Moräne bedeckt.
Aufgrund der raumgreifenden seitlichen Einflüsse der Bachschuttfächer



4: Baugrube am Fuss des Gotschna-Hanges in Klosters-Platz (linke Bildhälfte: sandig-feinkiesige Alluvionen der Landquart, rechte Bildhälfte: lehmige Gotschna-Rutschmasse, dazwischen aufsteigende Gleitfläche).

und der Gotschna-Rutschung ist die Ausdehnung der Landquart-Alluvionen in der heutigen Talsohle eng begrenzt.

Geologische Hauptprobleme

Gotschna-Tunnel

Im Laufe der Sondierungen erwiesen sich die geologischen Verhältnisse im Bereich des Ostportals, unter dem sogenannten «Wijer», als besonders ungünstig. Der «Wijer» ist ein Teich, in einer natürlichen Senke zwischen der Gotschna-Rutschung, einem Moränenwall und dem Totalp-Bergsturz liegend. Seine Fläche beträgt etwa 3000 m². Eine natürliche Abdichtung des Grundes fehlt praktisch vollständig; es besteht eine nahezu ungehinderte Verbindung zum Kluftwasser der Felsunterlage. Der Tunnel liegt zwar auch in diesem Abschnitt vollständig im Fels; doch ist die Qualität der Gesteine der Aroser Schuppenzone zu einem grossen Teil schlecht.

Das Bohrgut aus den Felsstrecken war bis zu 50 % lockergesteinsartig beschaffen. Entsprechend wurden die Bohrgutproben auch bodenmechanisch untersucht und klassifizert. Es überwiegen Kiese und Sande mit kleiner Plastizität und wechselndem Feinanteil. Lithologisch handelt es sich um Kalk-Tonschiefer, Dolomit und gipshaltige Schiefer der tieferen Aroser Schuppenzone.

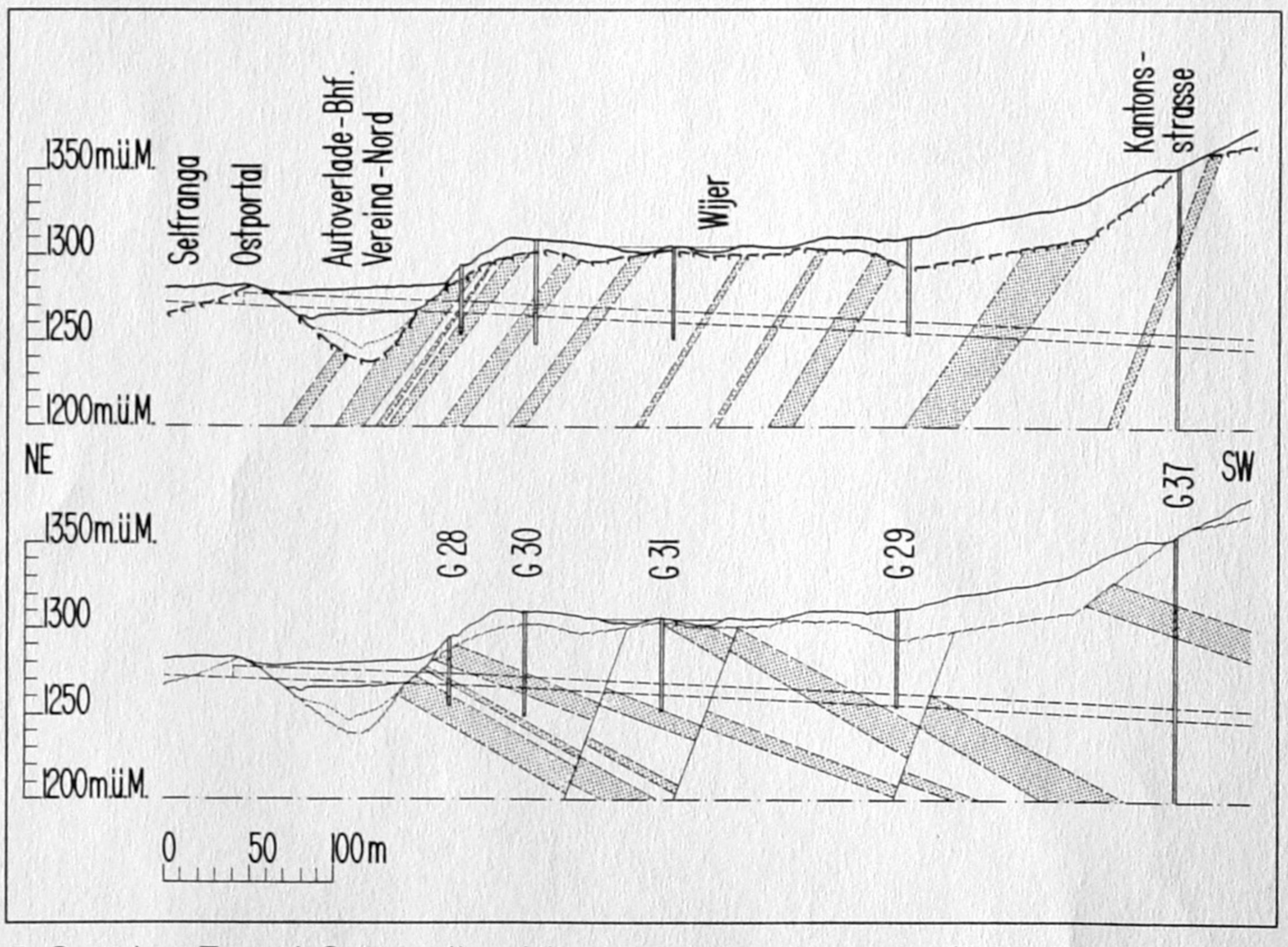
Bautechnisch ist diese voraussichtlich etwa 500 m lange Teilstrecke der anspruchsvollste Tunnelabschnitt. Die Überdeckung beträgt 30 bis 100 m. Auf drei Trasseevarianten wurden acht gekernte Sondierbohrungen abgetieft. Es wurden zerrüttete Zonen mit bis zu 50 m scheinbarer Mächtigkeit durchbohrt; 20 bis 40 % des Tunnelgebirges dürften auf diesem Abschnitt druckhaft bis sehr druckhaft sein.

Die Frage, ob diese Zonen zur Zeit der Deckenplatznahme angelegt wurden, oder ob es sich um junge Bruchsysteme handelt, ist noch offen (Abbildung 5). Wahrscheinlich ist, dass die Zerrüttungen auf steilstehende, N–S bzw. E–W streichende Störungszonen zurückzuführen sind (Abbildung 5, oben). Entsprechend den beiden aufgezeigten Interpretationsmöglichkeiten ergeben sich unterschiedliche Konsequenzen für den projektierten Tunnel.

Subhorizontal liegende Zerrüttungszonen (Abbildung 5, unten) beeinflussen den Vortrieb bei gleicher Mächtigkeit über eine längere Strecke stärker. Die Interpretation mit steilstehenden Brüchen wäre für den Bau des Tunnels günstiger. Die wahren Mächtigkeiten der Zerrüttungszonen wären deutlich geringer, als in den meist lotrecht angesetzten Bohrungen angedeutet. Steilstehende Störungen sind beim Vortrieb gegenüber flachliegenden leichter beherrschbar.

Es muss durchgehend mit Kluftwasser gerechnet werden, das vom «Wijer» und seinen Zuflüssen gespiesen wird. Eine Trockenlegung des Gebirges ohne aufwendige Vorarbeiten scheint nicht möglich.

Als Konsequenz der ungünstigen Prognose ist das Auffahren dieser Teilstrecke im konventionellen Vor-



5: Gotschna-Tunnel, Ostportalbereich, geologisches Längenprofil, Interpretationsmöglichkeiten der Bohrresultate.

trieb vom Ostportal her vorgesehen. Einerseits ergibt sich durch diesen zusätzlichen Angriff eine Reduktion der Bauzeit, andererseits wird ein grosser Teil des Risikos geologisch bedingter Verzögerungen ausgeschlossen. Diese Vorteile wiegen die Nachteile des fallenden Vortriebes, selbst in Anbetracht des voraussichtlich beträchtlichen Bergwasseranfalls, auf.

Im Auflageprojekt ist für die bergmännische Tunnelstrecke das mechanische Auffahren eines ausserhalb des Haupttunnel-Querschnittes liegenden Pilotstollens vorgesehen. Hauptschwierigkeiten werden auch hier Kakirite bereiten, welche jedoch voraussichtlich nur von geringer Mächtigkeit sein werden. Der Pilotstollen wird für Lüftung, Entwässerung, und gegebenenfalls im Bereich von Kakiriten, für standfestigkeitsverbessernde Massnahmen im Querschnitt des Haupttunnels genutzt werden können.

Anschluss- und Portalbereich Büel/Drosstobel

Die Sunnibergbrücke führt talquerend vom rechtsufrigen Büel ins Drosstobel. Obwohl er in der Stirne der Gotschna-Rutschung liegt, erwies sich der Standort des südlichen Widerlagers bei der geodätischen Vermessung seit Mitte der achtziger Jahre als stabil. Für die Sunnibergbrücke sind somit keine Stauchungen zu erwarten. Ebenfalls stabil ist der Untergrund der anschliessenden 200 m langen Tagbaustrecke des Tunnels bis zum bergmännischen Westportal.

Anschlussbereich Selfranga

Die periodische geodätische Vermessung von Punkten im Bereich Selfranga ergab Bewegungsraten zwischen 1 und 3 cm pro Jahr. Diese Verschiebungen des Gotschna-Hanges mussten für die Planung und Projektierung der Anschlussbauwerke beachtet werden. Anstelle grösserer Brücken sollen nach Möglichkeit Dammschüttungen erstellt werden. Unvermeidliche Kunstbauten sind so angelegt, dass Stauchungen und Zwängungen minimiert werden.