

Mitt. österr. geol. Ges.	78 (1985)	S. 211–230 10 Abb.	Wien, 11. März 1986
--------------------------	--------------	-----------------------	---------------------

## Geologische Beschreibung des Walgaustollens (Vorarlberg, Österreich)

Von Hermann LOACKER<sup>\*)</sup>

Mit 10 Abbildungen

### Zusammenfassung

In den Jahren 1980 bis 1984 wurde von den Vorarlberger Illwerken, Vorarlberg, Westösterreich, das Walgauwerk gebaut. Der 21 km lange Walgaustollen gab einen guten Einblick in die Untertagegeologie des Rätikons und das bautechnische Verhalten der hier vorkommenden sehr unterschiedlichen Gesteine. Der Stollen durchörtert, beginnend in der Sedimentschuppe des Kristakopfes, die Phyllitgneiszone, die Nördlichen Kalkalpen und die Vorarlberger Flyschzone. Bedingt durch den heterogenen Aufbau des Gebirges wurden sehr unterschiedliche Bergwasserverhältnisse, u. a. auch Karsterscheinungen, angetroffen. Der Stollen wurde von zwei Tunnelbohrmaschinen Ø 6,25 m ausgebrochen.

### Summary

In the years 1980–1984 the Walgau power plant was built by the Vorarlberger Illwerke, Vorarlberg, Western Austria. The 21 km long Walgautunnel has given a good impression of the subsurface geology of the Rätikon and the behavior of very different rocks. The tunnel started in the Middle Triassic Kristakopfschuppe, crossed the Phyllitgneiszone, the Nördliche Kalkalpen and the Vorarlberger Flyschzone. Caused by the heterogeneous structure of the rock mass permeable and impermeable layers were interbedded, karst phenomena were also found. The tunnel was excavated by two TBM-tunnelboring machines Ø 6,25 m.

### Überblick

Im folgenden werden die geologischen Verhältnisse beschrieben, die beim Bau des Walgaustollens im Nordsockel des Rätikon-Gebirges in Vorarlberg angetroffen worden sind.

Das Walgauwerk wurde in den Jahren 1980 bis 1984 von den Vorarlberger Illwerken gebaut. Der 21 km lange Walgaustollen gab einen guten Eindruck in die Untertagegeologie des Rätikons und das bautechnische Verhalten der hier vorkommenden Gesteine.

<sup>\*)</sup> Adresse des Verfassers: Dr. Hermann LOACKER, Vorarlberger Illwerke AG, A-6780 Schruns, Batloggstr. 1062, Postfach 66, Österreich.

Der geologische Aufbau des Rätikons ist sehr heterogen. Der Walgaustollen verläuft ungefähr in SE-NW Richtung und quert die einzelnen geologischen Einheiten meist stumpfwinkelig. Er beginnt im Südosten in der mitteltriadischen Sedimentschuppe des Kirstakopfes und quert die Phyllitgneiszone und die einzelnen Teilschuppen der Nördlichen Kalkalpen.

Als erste Teileinheit der Nördlichen Kalkalpen wird die Zimba-Schesaplanascholle, die hier als großräumige Mulde – Valbonamulde – aufgebaut ist, gequert. Im Ostschenkel der Mulde ist die stratigraphische Abfolge in der Trias durchgehend vertreten. Überraschend war, daß die untere Trias an der Rellstaltörung – Grenze Nördliche Kalkalpen gegen die Phyllitgneiszone – sehr stark ausgedünnt war. Der Buntsandstein unterlagerte nur mehr als schmale Quetschzone die Mitteltrias. Er wurde hier durch mitteltriadische Kalkschuppen, die durch Rauhacken und Anhydrit getrennt waren, ersetzt. Im Ostschenkel der Valbonamulde wurde im Hauptstollen kein Jura angefahren, hier sind die Kreideschiefer des Muldenkerns tektonisch dem oberrätischen Riffkalk aufgeschoben. Im danebenliegenden Fensterstollen Bürs transgredieren die Kreideschiefer auf geringmächtige, rote Jurakalke. Der Jura ist hier nur mehr rudimentär entwickelt. Im Westschenkel der Valbonamulde werden die Kreideschiefer von einer mächtigen Abfolge von Juragesteinen, Aptychenschichten, Radiolariten und Fleckenmergeln unterlagert. Der an der Oberfläche noch relativ mächtig aufgeschlossene Hauptdolomit ist im Stollen von einem Aufbruch von Arosazone abgeschnitten. Dieser Arosazonenaufbruch fällt mit 35° gegen Osten hin ein, die Zimba-Schesaplanascholle ist auf die Fundelkopf-Alpilascholle aufgeschoben.

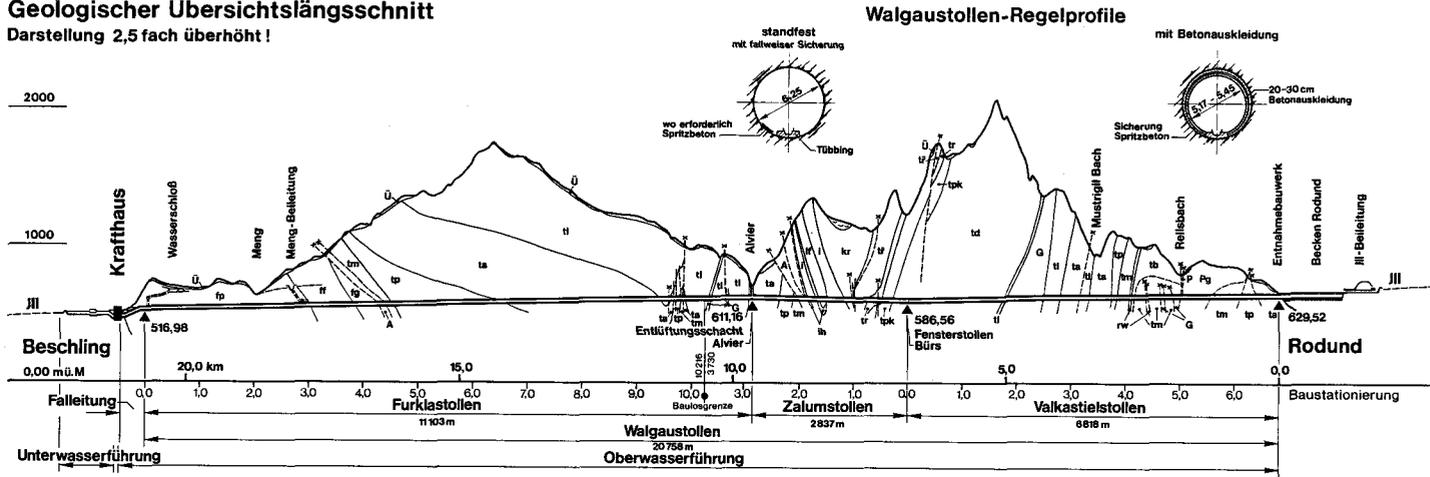
In der Fundelkopf-Alpilascholle wurden, wie erwartet, nur mehr Gesteine der Mitteltrias angefahren. Auch sie sind muldenförmig gelagert, die Raibler Schichten bilden den Muldenkern. In diesen Raibler Schichten mit ihren ausgedehnten Anhydrit- und Gipslagen müssen starke schichtparallele Gleitungen vor sich gegangen sein, die vorkommenden Dolomite waren sehr stark zerrüttet. Es wurde hier im fallenden Trum bei einem durchschnittlichen Wasserandrang von 200 l/s die Grenze des wirtschaftlichen maschinellen Ausbruches erreicht, der Stollen wurde in diesem Bereich auf konventionellen Vortrieb umgestellt. Die Raiblerschichtenmulde von Bürserberg wird durch einen an eine Großstörung gebundenen Aufbruch anisischer und ladinischer Kalke und Mergel zweigeteilt. Man könnte hier den östlichen Teil als eigene Teilscholle von Bürserberg von der Fundelkopf-Alpilascholle abtrennen.

Die Überschiebungszone der Kalkalpen auf den Vorarlberger Flysch war im Stollen auf eine Länge von ca. 100 m aufgeschlossen. Die Gesteine der hier eingeschleppten Arosazone bestehen hauptsächlich aus stark feinblättrig tektonisierten Mergeln und Tonschiefern, in denen tektonische Gerölle von Sandsteinen und Kalken und z. T. Riesenblöcken aus Anhydrit eingequetscht sind.

In der Flyschzone war interessant, daß hier die noch aus dem Liechtensteiner Flysch bekannte Gaschloserie in großer Mächtigkeit dem eigentlichen Vorarlberger Flysch aufschuppt ist. Die Grenze zur unterlagernden Fanolaserie ist eine breite Störzone. Hier waren die tonreichen Gesteine ebenfalls feinstblättrig tektonisiert, die Hartgesteine boudiniert bzw. als tektonische Gerölle eingequetscht. Anschließend wurden die Flyschserien Fanolaserie und Plankner-Brücke-Serie durch-

# Geologischer Übersichtslängsschnitt

Darstellung 2,5 fach überhöht!



## Legende

- Rutschung in den Kreideschiefern
- Überlagerung (Hangschutt, Bergsturz, Moräne und Verbauungsschotter)
- Bürser-Konglomerat
- Störzonen Deckengrenze

### Penninikum Vorarlberger Flysch

- fg Gaschler-Serie
- ff Fenale-Serie
- fp Plankner-Brücken Serie
- Fpl Plesenkopfkalk
- Fr Reischberger Sandstein

### Unterostalpin

- A Arosa-Zone

### Oberostalpin Lechtaldecke und Basisschollen

- kr Kreideschiefer
- i Aptychenkalk
- ih Radiolarite und rote Kalkmergel
- lf Liasfleckenmergel
- ad Adnethen Schichten
- tf Oberrätischer Riffkalk
- tr Küssener Schichten
- tpk Plattenkalk
- td Hauptdolomit
- tl Raibler Schichten
- G Raibler Gips
- ta Arlbergschichten
- tp Partnachschichten
- tm Muschelkalk
- rw Reichenhaller Rauwackes
- tb Buntsandstein
- P Paläozoische Schiefer
- Pg Phyllitgneis und Glimmerschiefer

Abb. 1: Geologischer Übersichtslängsschnitt des Walgaustollens.

fahren; die Piesenkopfschichten waren noch im Druckschacht und im Krafthaus aufgeschlossen.

### Stollenbeschreibung von NW nach SE fortschreitend

Der Stollen war in zwei Baulose unterteilt (Abb. 1–2): Der Furklastollen im Baulos Beschling wurde im steigenden Trum von Westen nach Osten vorgetrieben. Das Baulos Bürs war durch den Fensterstollen Bürs in zwei Äste unterteilt. Der Zalumstollen wurde vom Fensterstollen Bürs gegen den Hochpunkt Alvier hin vorgetrieben, um dann im fallenden Trum im Furklastollen der Arge Beschling entgegenzuarbeiten. Der Durchschlagspunkt lag bei Baustation 3.730 m Bürs bzw. Station 10.216 m Beschling. Der Valkastielstollen führt im steigenden Trum vom Fensterstollen Bürs zum Entnahmebauwerk Rodund. Der Furklastollen wurde im November 1982 durchgeschlagen, der Valkastielstollen erreichte ebenfalls im November 1982 das Einlaufbauwerk Rodund. Die nachstehende geologische Beschreibung folgt den damaligen Stollenvortrieben, es wird zuerst der Furklastollen, Baulos Beschling beschrieben, anschließend der Zalumstollen mit dem Furklastollen, Baulos Bürs bis zur Losgrenze und daraufhin der Valkastielstollen.

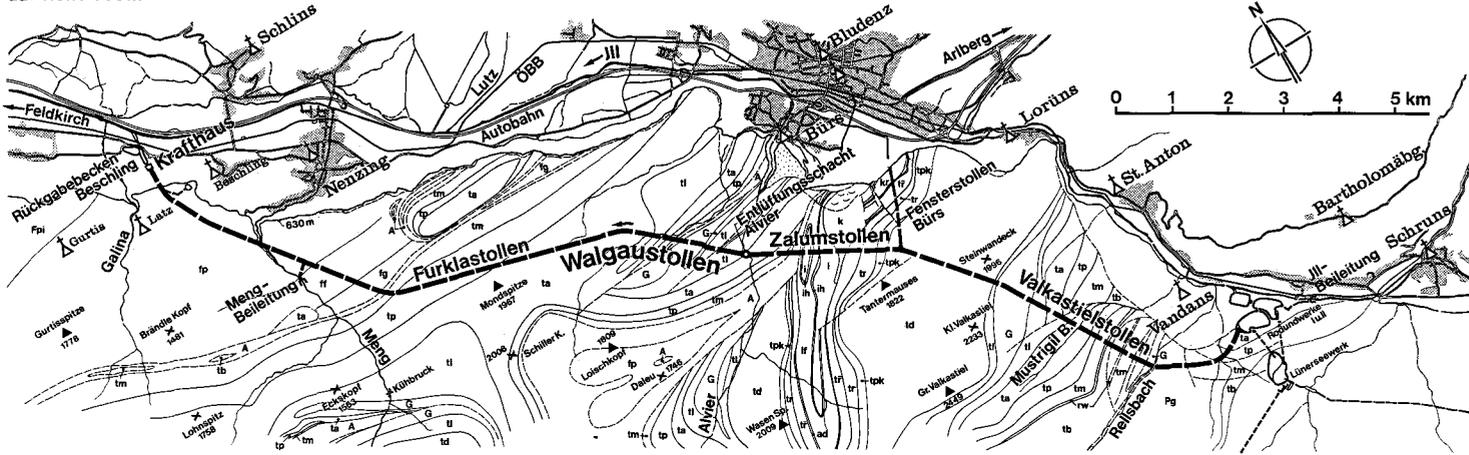
Im Furklastollen Baulos Beschling stand auf die ersten 3.020 m Flysch der Plankner-Brücke-Serie an, darauf folgten bis Station 4.330 m Fanola- und Gaschloserie.

Der Vorarlberger Flysch war ein stollenbautechnisch problemloses Gestein mit vielen, jedoch kleinen Wassereintritten. Seine schon prognostizierte, starke Verfallung bereitete kleinere Schwierigkeiten, besonders in jenen Strecken, wo das Gesteinsstreichen parallel zum Stollen verlief. Die Mergel zwischen den einzelnen festen Sandsteinbänken waren stark tektonisiert und weichten rasch oberflächlich auf. Diese Bereiche mußten mit Stahlringen sofort hinter dem Bohrkopf gesichert werden. Die gesamte Stollenstrecke im Flysch erhielt einen Luftabschluß durch Spritzbeton. Wie erwartet, traten zum Teil starke Methangasbläser im Flysch auf. Die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit im Flysch betrug im Mittel 20 m/d.

Zwischen Station 3.805 m und Station 3.906 m ist das Gestein stark gestört, die Hartgesteine waren boudiniert, zum Teil schwimmen richtige tektonische Gerölle von Sandsteinen in einer mergeligen Grundmasse. Diese Störzone war vollständig trocken und nur gering nachbrechend. Im Hangenden dieser Störzone traten unerwartet Gesteine der Gaschloserie auf. Schon Blaser, der diese Serie in Liechtenstein aufstellte, stellte fest, daß verschiedene Indizien dafür sprechen, daß die Gaschloserie dem Vorarlberger Flysch aufgeschoben wurde und ihre Ausbildung stark an den Vaduzer Flysch erinnert. Oberhauser hat diese Serie in Vorarlberg in der geologischen Karte des Walgaues an zwei Stellen ausgeschieden, und zwar immer eingequetscht zwischen Basisschollen von Kalkalpin und den eigentlichen Kalkalpen der Lechtaldecke. Diese Überschiebungszone war im Stollen, wie oben erwähnt, gut aufgeschlossen; die gefürchtete Einschuppung einer Basisscholle war jedoch nicht zu beobachten.

Über der Gaschloserie, die bis Station 4.330 m reichte (ca. 430 m lang), folgte an einer flachen, ca. 20–30° nach Süden einfallenden Überschiebungsbahn die Arosa-

**Geologischer Horizontalschnitt  
auf Höhe 630m**



**Legende**

- Rutschung in den Kreidieschiefern
- Überlagerung (Hangschutt, Bergsturz, Moräne und Verbauungsschotter)
- Bürser-Konglomerat
- Störzzone Deckengrenze

**Penninikum Vorarlberger Flysch**

- Gaschld-Serie
- Fanola-Serie
- Plankner-Brücken Serie
- Piesenkopfkalk
- Reiselberger Sandstein

**Unterostalpin**

- Arnsa-Zone

**Oberostalpin Lachtaldecke und Basisschollen**

- |                                 |                         |                          |                                  |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Kreidieschiefer                 | Kössener Schichten      | Raibler Gips             | Buntsandstein                    |
| Aptychenkalke                   | Plattenkalk             | Arbergsschichten         | Paläozoische Schiefer            |
| Radiolarite und rote Kalkmergel | Hauptdolomit            | Partnachschichten        | Phyllitgneis und Glimmerschiefer |
| Liasleckenmergel                | Raibler Schichten       | Muschelkalk              |                                  |
| Adnether Schichten              |                         | Reichenhaller Rauhwacken |                                  |
|                                 | Oberrhätischer Riffralk |                          |                                  |

Abb. 2: Geologischer Horizontalschnitt des Walgaustollens.

zone. In stark tektonisierten Mergeln und Tonschiefern steckten hier tektonische Gerölle aus Sandsteinen und Kalken und zum Teil Riesenblöcke aus Anhydrit. Typische Gesteine der Arosazone, wie Ölquarzite, konnten fast keine beobachtet werden, die Serie besteht hauptsächlich aus abgeschürften Flyschkomponenten, Anhydrit und Mergeln aus der Basis des Muschelkalkes. Der Anhydrit stammt wahrscheinlich aus den Reichenhaller Schichten. Die Strecke war im Stollen ca. 100 m lang, staubtrocken und machte beim Vortrieb keine besonderen Schwierigkeiten, obwohl hier an dieser Hauptverschiebung große Schwierigkeiten erwartet wurden. Der gemittelte Bohrfortschritt betrug 18 m/d.

Beim Anfahren des Muschelkalkes wurden größere Wassereinbrüche erwartet. Das Gebirge war jedoch fest und geschlossen, nur an einigen wenigen Klüften spritzte stark mineralisiertes Druckwasser heraus. Am Übergang zu den darauf

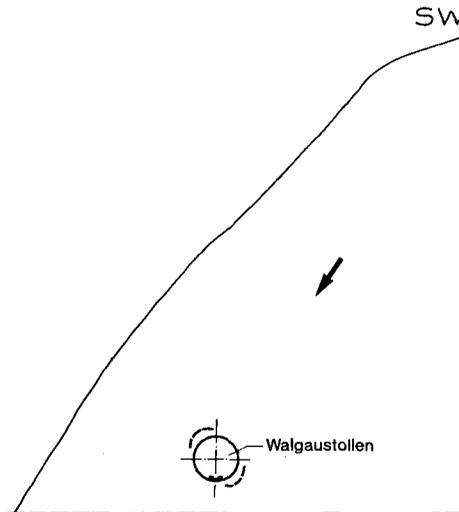


Abb. 3: Entspannungsrisse im Stollen.

folgenden Partnachsichten waren einige Pietra verde Lagen zu beobachten. Der Muschelkalk erforderte fast keine Sofortsicherung, ein Teil dieser Strecke wurde auch nicht ausgekleidet. Die Vortriebsleistung betrug 27,3 m/d.

Die Partnachsichten waren durchwegs massige bis grobbankige, schwarze Mergel mit einer starken Kalzitdurchhäderung. Die Gebirgsüberlagerung war für die Druckfestigkeit dieser Mergel zu hoch, es traten laufend quer durch das Gestein Entlastungsrisse und Abplatzungen auf, die meist schon direkt im Bohrkopfbereich aufmachten oder als Bergschläge im Maschinenbereich auftraten. Nach Aufbringen einer Spritzbetonschale im Bereich der Arbeitsbühne wurden keine Bewegungen mehr beobachtet. Diese Entspannungsrisse traten größtenteils quer zur Hauptspannungsrichtung auf. Infolge dieser Entspannungsrisse und Bergschlagerscheinungen mußte fast die gesamte Strecke in den Partnachsichten sofort hinter dem Bohrkopf mit Stahlbögen gesichert werden. Bedingt durch die starken Einbauten sank die Vortriebsleistung auf 19,1 m/d.

Dann durchhörte der Stollen von Station 6.666 m bis Station 9.440 m die Arlbergsschichten. Die unteren Arlbergsschichten bis Station 8.720 m führten nur wenig Wasser, die einzelnen Kalkbänke wurden immer wieder durch Mergelbänke abgedichtet. Die Vortriebsleistung betrug 24,1 m/d. In den oberen Arlbergsschichten traten innerhalb dieser Wechselfolge von Mergel- und Kalkbänder von stark zertrümmerten Dolomiten und Rauhwacken auf, die viel Wasser führten (bis über 100 l/s an der Stollenbrust) und die Standfestigkeit des Gebirges stark herabsetzten. Die Vortriebsleistung sank auf die Hälfte.

Zwischen Station 9.440 m und Station 9.587 m wurden Raibler Schichten in einer flachen Mulde (westliche Mulde) angefahren. Die Raibler Schichten waren in dieser Mulde ungünstig flach gelagert, der Wasserzutritt an der Brust betrug durchwegs 10 l/s und mehr. Sie erforderten starke Sicherungen, die Vortriebsleistung sank auf 11 m/d.

Wie schon erwähnt, ist am Eingang der Bürser Schlucht nochmals ein Aufbruch von Gesteinen der Mitteltrias zu beobachten. Diese mitteltriadischen Gesteine sind im Stollen zwischen Station 9.587 m und Station 9.875 m zu beobachten. An staffelförmigen Brüchen sind nochmals Arlbergsschichten, Partnachschiefer und Muschelkalk ins Stollenniveau heraufgeschleppt. Östlich der Hauptstörung bei Station 9.840 m – Arosazone konnte nicht beobachtet werden – folgt noch 35 m in Gegenrichtung nach Südosten einfallender Arlbergkalk als Liegendes einer zweiten Mulde mit Raibler Schichten. Der Muldenkern lag bei Station 10.225 m an der Losgrenze zwischen den beiden Baulosen Furklastollen Beschling und Furklastollen Bürs, der der Vortriebsrichtung folgend zusammen mit dem Zalumstollen beschrieben wird. Die mitteltriadischen Gesteine waren stärker gestört, der Bohrfortschritt betrug ca. 15 m/d. Die Raibler Schichten der zweiten Mulde waren ebenfalls stark gestört, im Bereich des Muldenkerns betrug die Vortriebsleistung nur mehr 3,8 m/d. Das Gestein brach schon vor dem Bohrkopf herein, die Nachbrüche erreichten eine Höhe von 8 m und ihre Durchörterung stellte größte Anforderungen an die Mannschaft (grusig zerrütteter Dolomit und Wasser).

Die Hauptstörzone bei Station 9.840 m zieht sicherlich von der Bürser Schlucht zum Arosazonenaufbruch des Loischkopfes durch und trennt einen Teil der Fundelkopf-Alpilascholle ab. Man konnte diesen östlichen Teil Scholle von Bürserberg nennen.

Im Baulos Bürs wurde als erster der westliche Ast – der Zalumstollen steigend bis zum Hochpunkt Alvier – ausgebrochen und anschließend im Furklastollen dem Baulos Beschling entgegengearbeitet. Vom Fensterstollen aus wurde zuerst der Hauptdolomit und dann der Plattenkalk des Westschenkels der Valbonamulde gequert. Diese Gesteine erforderten wenig Einbauten, der Plattenkalk war, wie im Fensterstollen Bürs, etwas verkarstet. Ab Station 456 m bis Station 729 m wurden die stark tektonisch gestörten Kössener Schichten gequert, die einen fast durchgehenden Ringausbau erforderten. Die Vortriebsleistung betrug 10,7 m/d. Bei Station 540 m wurde eine 2 m breite, mit schluffigem Feinsand gefüllte Kluft in den Kössener Schichten ohne Schwierigkeit durchfahren. Es war nur ein stärkerer Stahlausbau und Gripperversteifung notwendig. Zwei Wochen nach Durchfahrung dieser Kluft – der Bohrkopf war schon weit von der Kluft entfernt – wurde dieser schluffige Feinsand herausgepreßt und große Wassermassen ergossen sich in den

Stollen (bis ca. 500 l/s). Die Hauptschneesmelze hatte eingesetzt und den Bergwasserdruck so stark erhöht, daß diese Lehmfüllung durchbrochen wurde. Es handelte sich um eine ausgesprochene Kartquelle aus dem liegenden Plattenkalk, die mit den Karstquellen im Fensterstollen in direkter Verbindung stand. Im Winter 1981/82 wurde die Quelle gefaßt, große Öffnungen im Sohlbereich sollten für den Abfluß des Wassers sorgen. Die Abflußmöglichkeiten waren zu gering oder hatten sich verstopft, so daß während der Schneesmelze 1982 das Wasser am Ulm neu ausbrach und einen großen Hohlraum ausschweimte.

Über den Kössener Schichten folgte der Oberrätische Riffkalk; das massige Gestein neigte zu Bergschlag, der meist quer zur Hauptspannungsrichtung auftrat. Auch hier traten große Karstquellen auf. Die mittlere Vortriebsleistung betrug 27,3 m/d.

Der Oberrätische Riffkalk konnte im Fensterstollen Bürs in vier Abschnitte gegliedert werden: über den Kössener Schichten lagert 42 m Korallenkalk; das massige Gestein ist voll von Korallenbruchstücken – auch kleine Korallenstöcke konnten beobachtet werden.

Darüber lagern, getrennt durch ein Mergelband, 127 m massige Kalke, voll von Megalodonten. Darüber folgen 46 m Kalke mit grünen und grauen Mergeln und 116 m massiger heller Kalk. Die obersten zwei Schichtglieder gehören nach Furrer, 1979, schon in den untersten Jura (Schattwalder Schichten und Geiselstein-Oolith).

Dieselbe Serie wurde auch im Hauptstollen durchörtert, die Untergliederung konnte jedoch nicht so genau vorgenommen werden.

Über dem Geiselstein-Oolith liegt im Fensterstollen Bürs noch eine 20 m mächtige Serie aus roten und grünen Liashornsteinkalken. Der darüberliegende, helle, knollige Kalk ist zum Teil wieder weg erodiert. Der Kreidemergel transgrediert hier auf die Erosionslandschaft des Juras.

Im Hauptstollen war dieser bunte Jura nicht aufgeschlossen; über den Geisel-Oolith folgten an Störzonen teilweise verschuppt die Kreidemergel. Diese Kreidemergel, die aus einer Wechsellagerung von Mergeln und mergeligen Sandsteinen bestehen, waren im Muldenkern stark tektonisiert und boudiniert. Sie waren trocken und es konnte trotz gebrächem Gebirge und durchgehendem Stahlausbau eine mittlere Tagesleistung von 28,5 m erreicht werden.

Die Valbonamulde ist in der Stollentrasse stark unsymmetrisch aufgebaut, die Gesteinsserien des Westschenkels sind vollkommen verschieden von jenen des Ostschenkels. Es herrschten hier auf engem Raum stark unterschiedliche Sedimentationsbedingungen. An der Oberfläche ist der Westschenkel im Hauptdolomit durch den Arosazonenaufbruch der Bürsener Schlucht abgeschnitten. Im Stollenniveau sind nur mehr die in eine Großfalte (Stirnfalte) gelegten Gesteine des Juras – Aptychenschichten, Radiolarite und Fleckenmergel – aufgeschlossen. Von den älteren Gesteinen sind nur mehr einige Blöcke von Oberrätikalk in diese Juragesteine eingespießt.

An der Grenze gegen die Arosazone befindet sich eine ca. 20 m mächtige Anhydritscholle. Die mittlere Vortriebsleistung war mit 36,4 m/d in den Aptychenschichten sehr hoch. Die höchste mittlere Vortriebsleistung wurde mit 50,5 m/d in den Fleckenmergeln erreicht.

Die Aptychenschichten, die Radiolarite und die Fleckenmergeln waren durchwegs

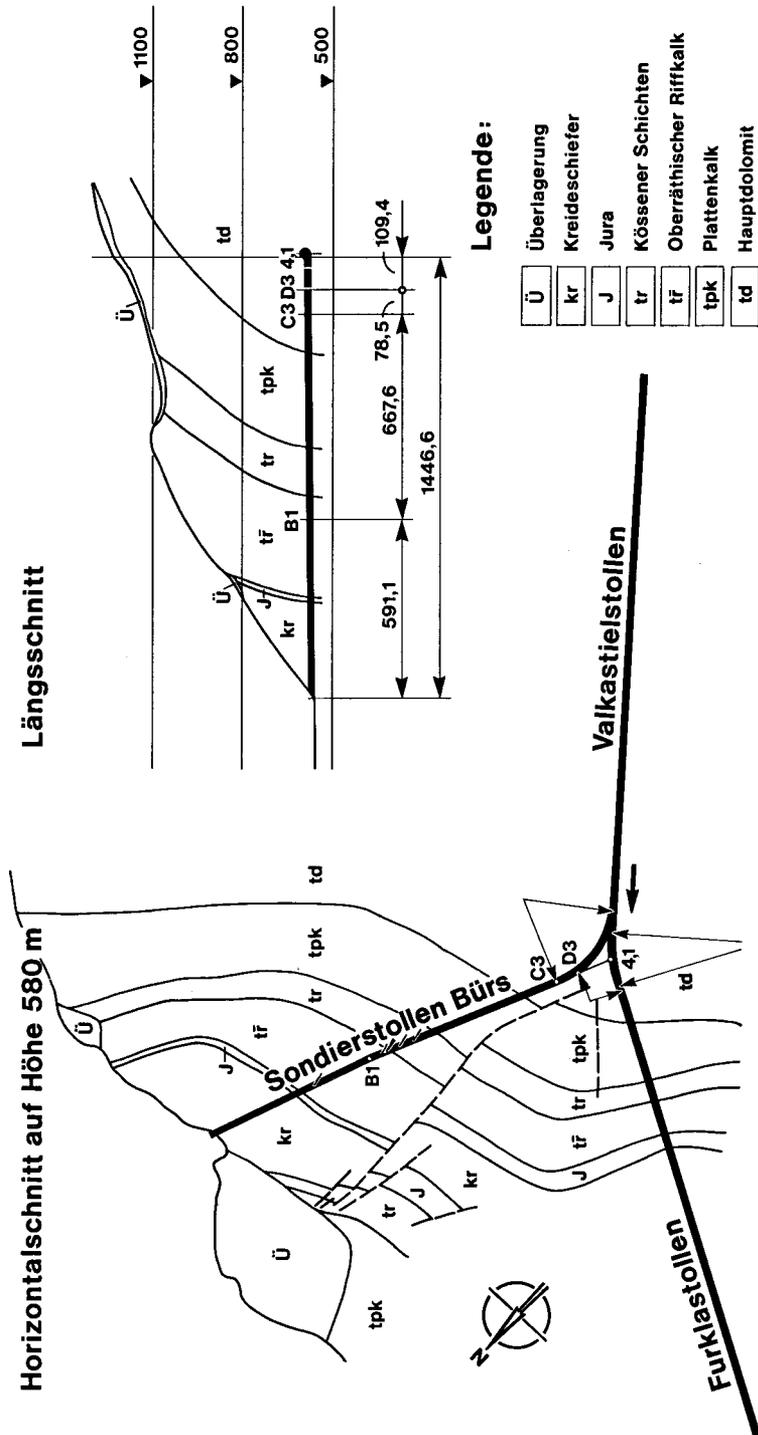


Abb. 4: Geologischer Horizontal- und Längsschnitt des Sondierstollens Bürs.

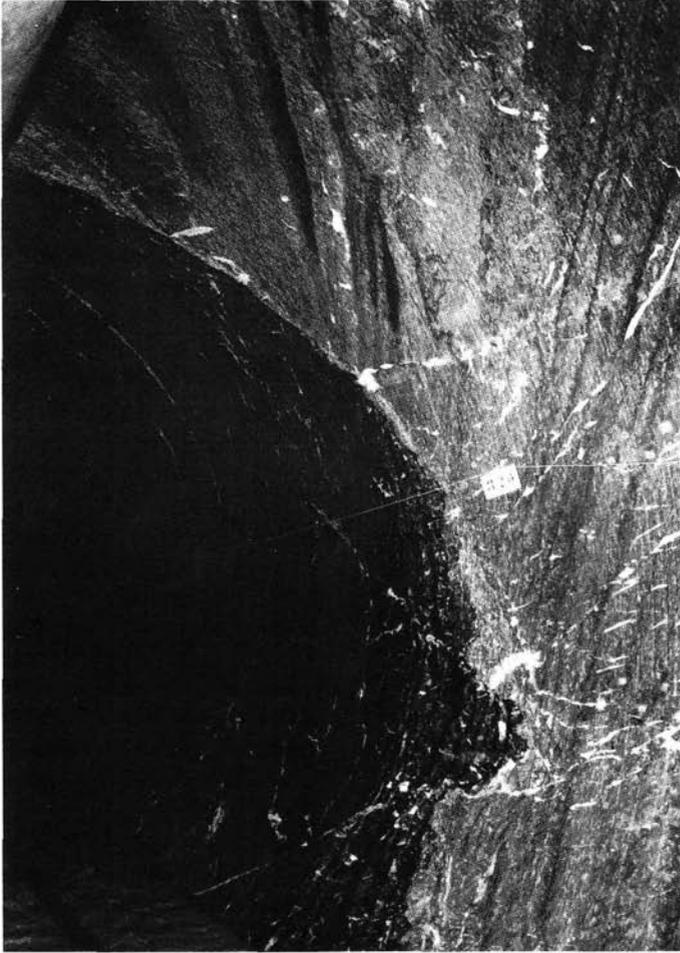


Abb. 5: Erosionsrelief im Jurakalk mit überlagernden Kreideschiefern im Sondierstollen Bürs. Bildhöhe rund 3 m.

standfeste, wenig gestörte Gesteine. In den Aptychenkalken und Radiolariten waren zwischen den einzelnen Bänken dünne Tonhäute eingelagert. Diese dichten das Gestein gut ab, so daß fast keine Wassereintritte in den Stollen zu beobachten waren. Die fast ausschließlich aus Quarz bestehenden Radiolarite waren ebenfalls gut fräsbar. Die Streichrichtung dieser steil stehenden Gesteine verlief etwa diagonal zur Stollenbrust, die dünnbankigen Radiolarite lösten sich an den zwischen den Bänken liegenden Tonhäuten grobscherbelig heraus. Der hohe Quarzgehalt der Radiolarite machte sich nur durch einen erhöhten Meißelverschleiß ungünstig bemerkbar.

Die Arosazone ist nicht, wie aus den Oberflächenaufschlüssen geschlossen wurde, ein ungefähr senkrechter Aufbruch von unten, sondern von mit ca. 35° gegen Osten einfallenden Überschiebungsflächen beidseitig begrenzt. Die Zimba-Schesaplanascholle ist auf die Fundelkopf-Alpilascholle bzw. die Teilscholle von Bürser-

berg aufgeschoben. Der an der Oberfläche noch sehr mächtige Hauptdolomit ist im Stollenniveau abgeschnitten.

Die Arosazone besteht aus einer Grundmasse von feinstblättrig zerscherten und tektonisierten Tonschiefern, in der tektonische Gerölle und Blöcke von Hartgestein – meist ölig glänzende Quarzite, Sandsteine und Kalke – schwimmen. Bereiche, in denen die ursprünglich geschichtete Abfolge erhalten war, wurden im Stollen keine beobachtet. Die Arosazonenstrecke war vollkommen trocken.

Man hatte zuerst befürchtet, daß diese quarzitischen Gerölle und Blöcke sich aus der weichen tonigen Grundmasse lösen und sich zwischen den Meißeln verklemmen würden. Es war daher vorgesehen, beim Erreichen der Arosazone die Stollenfräse abzubauen und auf konventionellen Sprengvortrieb umzustellen.

Diese gefürchteten Schwierigkeiten traten jedoch nicht auf; die tektonischen Gerölle steckten so fest in der Grundmasse, daß sie von den Meißeln glatt abgeschnitten wurden. Der Stollen mußte zwar hinter dem Bohrkopf durch schweren Stahleinbau gesichert werden, bereichsweise mußten auch die Gripperwiderlager verstärkt werden, dennoch konnte diese 156 m lange Quetschzone mit einer mittleren Tagesleistung von 16 m/d maschinell durchörtert werden. Es muß jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, daß dies nur möglich war, weil die Strecke in der Arosazone vollkommen trocken war.

An der Westgrenze der Arosazone wurde eine größere Störzone mit einem Wassereinbruch von 60 l/s angefahren. In diese sind noch Gesteine der Reichenhaller Schichten – ockergelbe Rauhacken und Gips – eingeschuppt. Darauf folgten die Gesteine des Mitteltrias – Muschelkalk, Partnachschiechten und Arlbergschichten – die, wie erwartet, einen zügigen Vortrieb ermöglichten. In den ungestörten und trockenen Partnachschiechten betrug die mittlere Vortriebsleistung 43 m/d, in den unteren und mittleren Arlbergschichten 37 m/d und im Muschelkalk 15 m/d.

Wie im Furklastollen, Baulos Beschling, waren in den oberen Arlbergschichten bankweise Rauhacken, Trümmerdolomite und Staubdolomite eingelagert. Sie waren stark wasserführend, konnten im steigenden Trum jedoch noch ohne größere Probleme durchörtert werden. Die Vortriebsleistung verringerte sich hier auf 22 m/d. Der Fußpunkt des Steigschachtes Alvier kam in einer stark zerrüttelten Lage in den oberen Arlbergschichten zu liegen. Der Schachtaufbruch der ersten 25 m war in dieser Wechsellagerung von mürben kalkigen Dolomiten und Staubdolomiten mit Lagen von fast kohäsionslosen Dolomit- und Kalkbruchstücken sehr schwierig. Darauf folgten feste massige Albergkalke.

Kurz nach Erreichen des Hochpunktes Alvier erreichte der Stollen die Raibler Schichten. Ab dem Hochpunkt Alvier mußte im fallenden Trum vorgetrieben werden. Hier war, wie schon in der Vorplanung erwartet, die Grenze des wirtschaftlichen maschinellen Vortriebes erreicht. Der Vortrieb mittels Stollenfräse war in diesen mürben Rauhacken und Trümmerdolomiten mit einem Wasserandrang bis 200 l/s am Bohrkopf nicht mehr möglich. Durch das Drehen des Bohrkopfes wurde das Wasser emporgeschleudert und schwemmte diese fast kohäsionslosen Trümmergesteine an den Ulmen aus, gleichzeitig brach die Firste teilweise nach. Es wurde daher beschlossen, die Stollenfräse abzubauen und konventionell im Sprengvortrieb weiter vorzutreiben.

Die Raibler Schichten waren muldenförmig gelagert (östliche Mulde), der Muldenkern war bei Station 3.065 m (Stationierung Zalum).

Die extrem starke Zertrümmerung, insbesondere der Raibler Dolomite, deutet auf starke schichtparallele Gleitungen und die Einwirkung von Gipstektonik in den Raibler Schichten hin. Es wurde zwar auf den sogenannten Sprengvortrieb umgestellt, aber bis Station 3.365 m mußte nur sehr wenig gesprengt werden, die meisten Strecken konnten mit Radlader abgebaut und mit Bergeisen profiliert werden. Es war ein Vortrieb wie in Lockermassen.



Abb. 6: Erster Gipskarsteinbruch.

Es zeigte sich später, daß der natürliche Bergwasserspiegel ca. 2 m bis 3 m über der Stollensohle am Hochpunkt Alvier lag. Die Bergwasserverhältnisse waren hier ähnlich wie im Grundwasser in Schottern. Das Wasser trat an der tiefsten Stellen aus, die Neigung des Absenktrichters war sehr flach. Dies wurde ausgenützt und in Pumpensümpfen das Wasser unter der Sohle abgepumpt, so daß trocken vorgetrieben werden konnte.

Bei Station 3.365 m trennte eine Störzone diese stark zerrütteten Raibler Schichten – auch Gips war eingeschuppt – von einer Serie von standfesten Dolomiten, die von einzelnen Mergellagen durchzogen waren (Ostschenkel der mittleren Mulde von Bürserberg). Die Klüfte in diesen Dolomiten waren mit Gips wieder verheilt – an einer Stelle als großtafelig auskristallisiertes Marienglas. Dieser Bereich ist auch hydrogeologisch von der vorbeschriebenen stark zertrümmerten Serie getrennt. Es traten hier wieder Wassereintritte über die gesamte Stollenlaibung auf. Im Hangen-

den dieser Dolomite befand sich eine Wechsellagerung von dichten Mergeln und Sandsteinen und darüber Anhydrit.

Im Hangenden dieser geringmächtigen Anhydritlage wurde ein Gipskarstsystem angefahren. Der Wasserandrang in den Stollen aus diesen Gipskarstschläuchen betrug 400 l/s. Der im fallenden Trum liegende Stollen wurde eingestaut, ca. 1.100 m<sup>3</sup> Material wurde eingeschwemmt. Nach Abpumpen des Wassers und Ausräumen des Materials trat ca. 10 Tage später ein neuerlicher Wassereinbruch ein, der im Mittel 2.000 l/s, stoßweise bis 8.000 l/s, schüttete.

Hiebei wurden 3.000 m<sup>3</sup> Material eingeschwemmt und der Stollen neuerlich bis zum Hochpunkt Alvier überflutet. Die Ursache dieses zweiten Wassereinbruches ist wahrscheinlich der Durchbruch eines benachbarten Karstsystems. Durch die Materialeinschwemmungen und Verstürzungen in den Karsthohlräumen dichtete sich dieses Karstsystem gegenüber dem Stollen wieder teilweise ab.

Dies ließ bei stark nachlassenden Wasserzutritten den Wasserdruck auf 8 bar ansteigen. Dieser hohe Wasserdruck konnte erst durch zahlreiche Entwässerungsbohrungen abgebaut werden.

Um dieser stark verstürzten und gestörten Zone auszuweichen, wurde die Stollen-trasse um 40 m verlegt. Nach Injektionen konnte dort im unverstürzten Bereich diese Gipskarstzone – die hier nur eine Breite von 20 cm aufweist – ohne größere Schwierigkeiten durchörtert werden. Die Durchörterung dieser Störzone dauerte 3 Monate.

Auf die Gipskarstzone folgten (38 m) weiche Rauhacken und darauf stark durchlässige und gestörte Kalke, die das Wasser von der Gipskarstzone abzogen. Um Erosionen vom Stollen fernzuhalten, wurde die Gipskarstzone im aufgelassenen Stollenstück zubetoniert und im Hauptstollen durch Injektionen abgedichtet.

Im August 1981 wurde die Stollenfräse in Bürs im östlichen Ast – dem Valkastielstollen – eingesetzt. Es war hier zuerst die mächtige Hauptdolomitserie der Vandanser Steinwand im Liegendschenkel der Valbonamuld zu durchörtern. Im Monat September 1981 konnten in diesem Gestein 1.019 m aufgefahren werden – das ergibt einen mittleren Tagesvortrieb von 34 m. Ab Station 1.300 m (Stationierung Valkastielstollen) wurde der Dolomit immer stärker klüftig. In diese Klüfte waren rötliche und gelbliche Feinsande und Schluffe eingeschwemmt, wahrscheinlich Produkte einer tertiären Verwitterung. Wenn man diese durch Schluff gefüllten Hohlräume zusammenschätzt, kommt man auf eine Auflockerung des Hauptdolomits über den gipsführenden Raibler Schichten von mehreren Zehner Metern. Die Vortriebsleistung sank hier auf 26 m/d. Diese Auflockerung wird an der Grenze zu den Raibler Schichten so stark, daß das Gestein einem verwitterten Hangschutt gleicht und an Oberflächenaufschlüssen – so bei den Erdpyramiden in der Mustringelschlucht – als verkitteter Hangschutt gedeutet wurde. Da diese Wassereintritte in den Stollen in dieser Strecke nur gering waren, konnte diese gestörte Zone ohne größere Schwierigkeiten mit einem mittleren Tagesvortrieb von 7 m/d durchörtert werden.

Unter diesem aufgelockerten und wieder festgepreßten Hauptdolomit – in den Kluffüllungen konnten noch Harnische im Schluff beobachtet werden – folgten die Raibler Schichten mit zuerst ca. 14 m weichen Rauhacken und einem 686 m breiten Anhydritstock, der im Hangenden einen 24 m breiten Gipssaum aufwies.

Der Anhydrit ist ein gut fräsbares Gestein; er ist stark verfaultet und von Dolomit-

blöcken und feinen, schuppenartig zerrissenen Tonhäuten durchzogen. Infolge der hohen Überlagerung (1.400 m) machte er stark auf und zwar wieder senkrecht zur Hauptdruckrichtung. Dies erforderte beim Vortrieb starke Stützmaßnahmen (fast durchgehender Ringausbau). Die mittlere Vortriebsgeschwindigkeit betrug 19 m/d.

Auch in seinem Liegenden hatte er einen 19 m breiten Gipssaum, der in eine Gipskarstzone überging. Beim Anfahren dieses Gipskarstes erfolgte ein Wassereintrich von ca. 1.600 l/s, gleichzeitig wurden ca. 3.000 m<sup>3</sup> Feststoff – zur Hauptsache gelbe, schluffartige Lösungsrückstände des Gipses – eingeschwemmt.

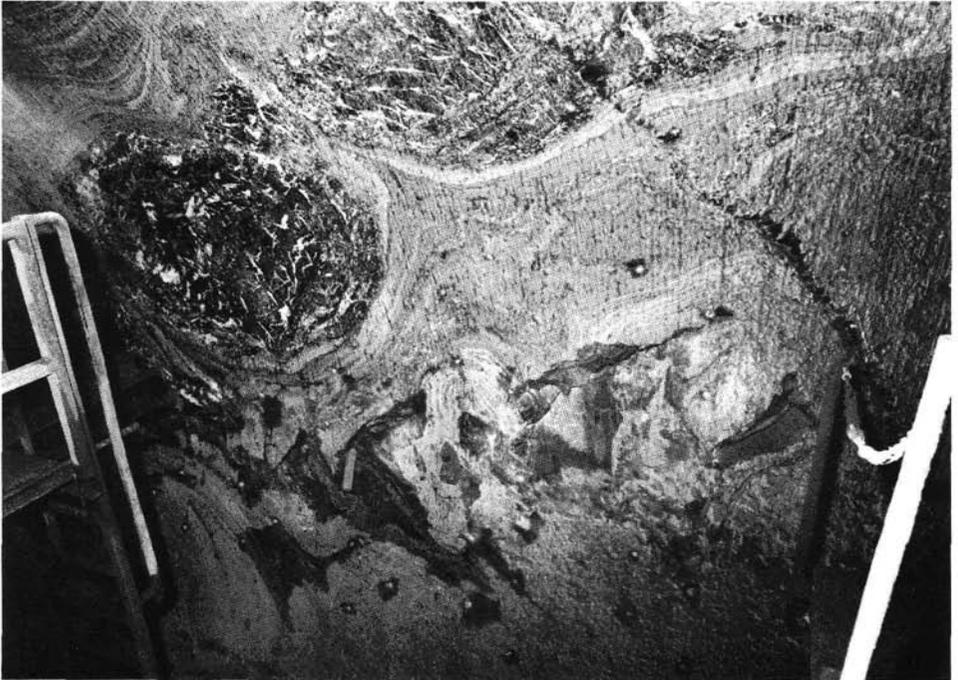


Abb. 7: Anhydrit im Valkastielstollen. Bildhöhe rund 5 m.

Die Gipskarstzone selbst besteht aus skelettartig ausgewaschenem Gips, dessen Hohlräume mit weichem, gelblichem, schluffartigem Lehm gefüllt sind. Diese Gipskarstzone konnte, obwohl der Nachlaufbetrieb und die Maschine bis fast zu den Motoren eingeschwemmt war, in 11 Tagen durchörtert werden. Die darauf folgenden Raibler Schichten bestanden aus klüftigen Kalken, Rauhdecken, Ton-schiefern, Trümmer- und Staubdolomiten. Der Wasserandrang an der Brust betrug vielfach 10 l/s und mehr mit Spitzen bis zu 800 l/s. Infolge der günstigen Lage der Gesteinsbankung konnten sie mit 11,6 m/d Vortriebsleistung ohne größere Probleme gequert werden. Die liegenden Arlbergsschichten waren ebenfalls stark gestört und stark wasserführend und konnten mit einer Vortriebsleistung von 15,5 m durchörtert werden.

Während des Vortriebes fielen die Trinkwasserquellen von Vandans trocken. Da

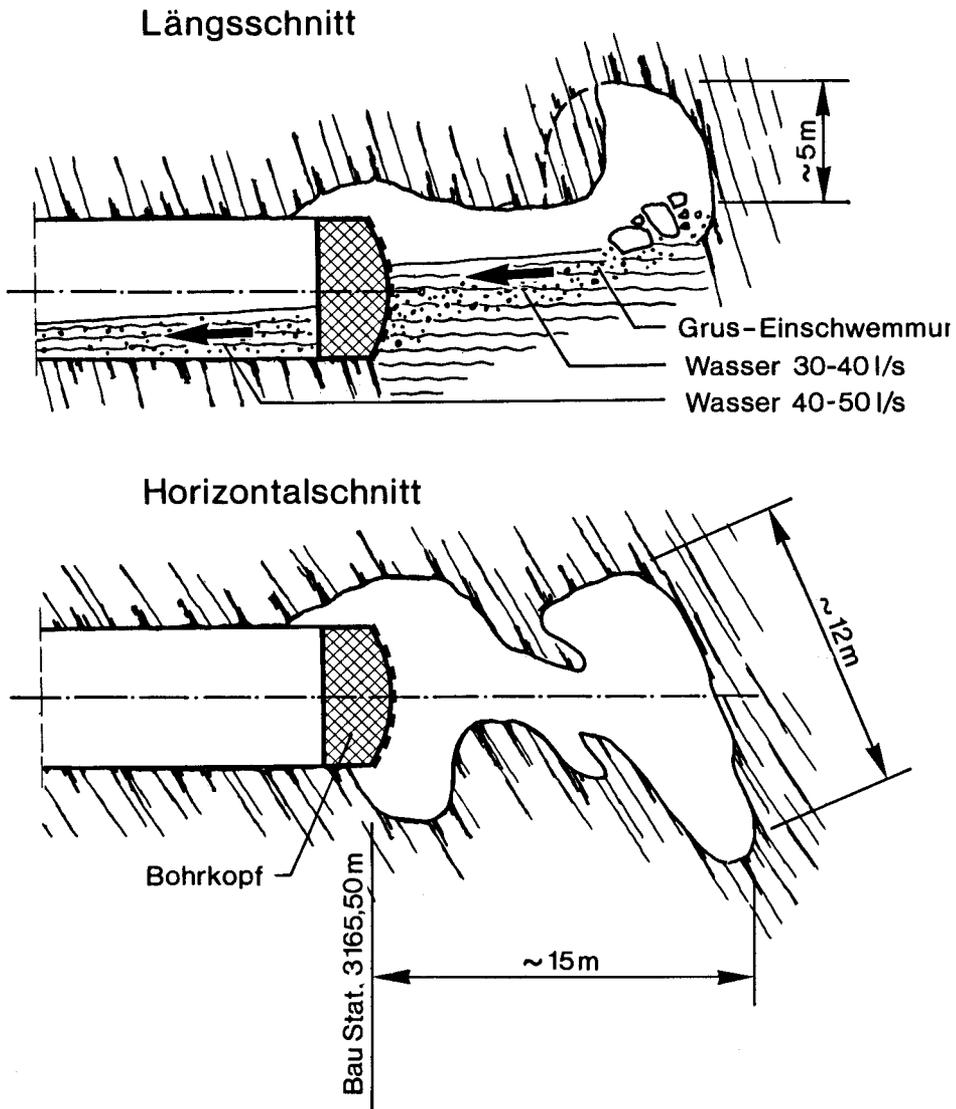


Abb. 8: Nachbruch an der Mustringelstörung.

das Versiegen dieser Quellen jedoch schon erwartet wurde, konnte die Gemeinde ohne Wasserausfall mit Ersatzwasser versorgt werden.

Die Arlbergsschichten und die Raibler Schichten sind im Bereich des Mustringelbaches durch die Mustringelstörung tektonisch verdoppelt. Die Raibler Schichten waren an der hangenden Störzone extrem stark zerrüttet, es stand hier unter hohem Gebirgswasserdruck feinkörnig zertrümmerter Dolomit an.

Nach Durchörterung des abdichtenden Gesteinspaketes floß der Dolomitgrus breiartig in den Stollen aus. Hierbei entstand eine mehrere Meter hohe Kaverne, die

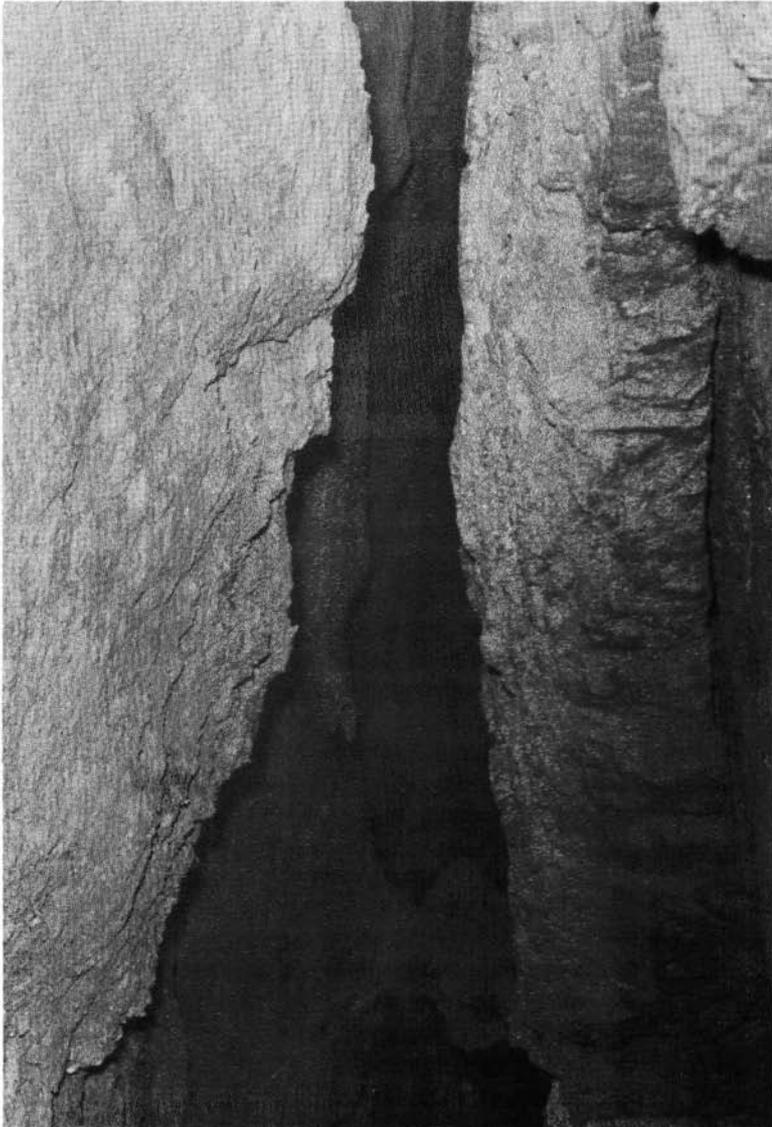


Abb. 9: Ausgeronnene mylonitisierte Dolomite bei Station 3.297 m (Valkastielstollen).  
Bildbreite rund 4 m.

bis 16 m vor den Bohrkopf reichte. Der Materialeinbruch betrug  $450 \text{ m}^3$ , der Wasserandrang ca.  $40 \text{ l/s}$ . Nach Einbringung von Pumpbeton in den oberhalb der Firste gelegenen Hohlraum wurde vor dem Bohrkopf ein Pilotstollen mit anschließendem händischem Vollausschub und schweren Sicherungen bis ins feste Gestein vorgetrieben. Eine Betonsohle schützte den Fräskopf vor dem Absinken. Die Aufarbeitung dieses Verbrauches dauerte einen Monat.

Bei Station 3.297 m brach links unten vor dem Bohrkopf die Brust – steil stehender, quer zur Stollenachse streichender, klüftiger, jedoch fester Dolomit – durch. Stoßweise wurden ca. 400 m<sup>3</sup> stark wassergesättigter Dolomitgrus eingeschwemmt und im Bohrkopf- und Maschinenbereich abgelagert. Nach mühevolem Ausgraben der Maschinen und des Nachlaufbetriebes zeigte sich bei weiterem Vortrieb die Ursache des Verbruches. Eine ca. 2 m breite Schichtbank aus fast kohäsionslosem Dolomitgrus hatte bei Annäherung durch die Fräse einen ca. 3 m langen, kreisrunden Naturstollen durch den etwas klüftigen Dolomit gestanzt. Diese Dolomitgruslage war am rechten Ulm bis 70 m vom Stollen entfernt ausgeronnen. In dieser schluchtartigen Höhle, deren erste 20 m begehbar waren, floß an der Sohle ein kleiner Bach mit ca. 10 l/s.

Im Süden waren die eingeschuppten Raibler Schichten durch eine 12 m breite Störungsbreccie – Blöcke und Bruchstücke verschiedenartiger Karbonatgesteine schwimmen in festgepreßtem ockerfarbenem, schluffigem Lehm – von den liegenden Arlbergschichten getrennt.

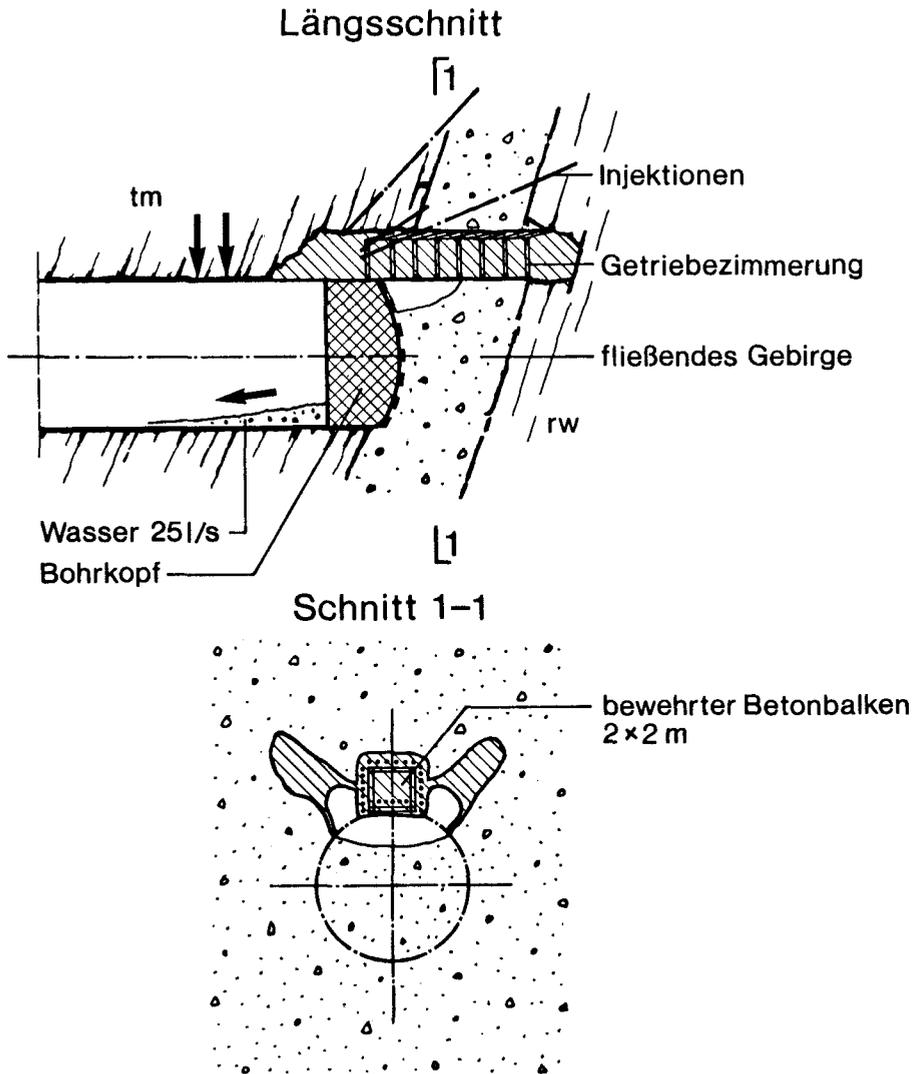
Die Partnachsichten im Liegenden der Arlbergschichten waren sehr stark gestört. Ihre geringe Mächtigkeit von nur 86 m, ihre starke Durchfeuchtung und die Vielzahl der Störzonen sprechen für eine tektonische Ausquetschung dieses Horizontes. Während in den ungestörten Partnachsichten des Zalumstollens ein mittlerer Tagesfortschritt von 43 m erreicht wurde, sank er hier – hauptsächlich bedingt durch die starke Durchfeuchtung – auf 7 m.

Der unter den Partnachsichten folgende Muschelkalk war ebenfalls intensiv zerschert und zerrüttet. Das Gestein war sehr wasserwegsam und es konnte über die größte Strecke ein mitlaufender Wasserandrang von über 100 l/s gemessen werden. Aus allen Klüften und Schichtfugen spritzte unter Druck Wasser heraus, trotz teilweiser Abdichtung mit Nylonplanen war man in kürzester Zeit vollkommen durchnäßt. Der Bohrfortschritt betrug hier 10 m/d.

Im Liegenden des wasserführenden Muschelkalkes waren die sandig-schluffigen Reichenhaller Rauhacken stark durchfeuchtet. Beim Anfahren dieser Zone verklemmten die breiartig aufgeweichten Gesteine den Bohrkopf. Es wurde zuerst versucht, dieses Material über dem Bohrkopf abzubauen, um den Bohrkopf freizumachen. Dies war nicht möglich, da wie in einem Silo, laufend Material nachfloß. Es wurde nun über dem Bohrkopf ein Stollen in Getriebezimmern vorgetrieben und von diesem aus die aufgelockerte Zone mit Polyurethanschaum und Zement injiziert. Anschließend wurde der Firststollen bis in die trockene Rauhacke weiter vorgetrieben und ausbetoniert. Im Schutze dieses damit geschaffenen Firstbalkens konnte wieder maschinell vorgetrieben werden. Die Aufarbeitung des Verbruches dauerte 17 Tage.

Die Gesamtmächtigkeit der Reichenhaller Rauhacken betrug 35 m. In größerer Entfernung von Muschelkalk konnten die hier trockenen, sandartig zerrütteten Gesteine zwar mit starkem Stahlausbau, jedoch sonst ohne größere Hindernisse durchörtert werden. Die Grenze gegen den darunter folgenden Buntsandstein ist unscharf, beide Gesteine sind an der Grenze miteinander tektonisch vermengt.

Der Buntsandstein beginnt mit ca. 14 m weißen Quarziten, die zu Klufftkörpern von 2 bis 5 cm zertrümmert waren. Zwischen den einzelnen Klufftkörpern war gelblicher Lehm aus den Rauhacken eingeschwemmt. Gefüge war keines mehr



tm	Muschelkalk
rw	Reichenhaller Rauwacken

Abb. 10: Verbruch in den Reichenhaller Schichten.

erkennbar. Darauf folgten vollkommen zu Sandfraktion zerriebene Sandsteine und Konglomerate. Der feuchte kohäsionslose Sand bereitete beim Vortrieb große Schwierigkeiten, es traten weit vor den Bohrkopf reichende Nachbrüche auf. Auf diesen sogenannten „Buntsand“ folgten massige, zwar etwas klüftige, jedoch feste weinrote Tonschiefer.

Dann kam die große Überraschung. Statt des obertags anstehenden, steil einfallenden Buntsandsteins wurde von Station 4.164 m bis Station 4.987 m eine mehrmalige Wiederholung von relativ festen Kalken (Muschelkalk-ähnlich) mit Zwischenlagen von Rauwacken und Anhydritlagen angefahren. Diese Situation wird als Aufschuppung von Mitteltrias aus dem Untergrund – eingewickelt in den leicht teilbeweglichen Anhydrit – gedeutet. Der obertags 800 m mächtige Buntsandstein ist im Stollenniveau bis auf einen stark gestörten, nur 66 m mächtigen Hangendbereich ausgequetscht. An der Geländeoberfläche deuten nur zwei kleine Kalkschuppen und ein Aufschluß von Rauwacken auf diese Einschuppungen im Stollenniveau. Die Vortriebsleistung betrug in diesen Kalken 24 m/d.

Bei Station 4.987 m, ziemlich direkt unter dem Rellstal, grenzte die zweite Anhydritlage an den Phyllitgneis. Die Grenze wurde durch eine tonige Störzone gebildet; in diese Störzone war noch ein kleiner Streifen von Buntsandstein eingequetscht. Der Phyllitgneis hat an der Oberfläche eine bedeutend größere Ausdehnung als im Stollenniveau. Das paßt gut zur Auffassung von Oberhauser, 1970, der die Strukturen am Südrand der Kalkalpen im Rätikon als Überkipppungserscheinungen und inverse Lagerung mit Tauchantiklinalen und Tauchsynklinalen erklärt. Der vom Stollen durchfahrene Phyllitgneis wäre daher als Tauchantiklinale zu deuten. Die Phyllitgneise waren flach gelagert und konnten trotz des hohen Quarzanteiles gut gefräst werden. In den Phyllitgneisen wurde eine Vortriebsleistung von 25 m/d erreicht.

Bei Station 5.580 m folgten unter einer flach gelagerten Störzone ca. 20 m stark verfaltete und gestörte Mergel – wahrscheinlich aus der Basis des Muschelkalkes stammend – und darauf die wenig gestörte, meist standfeste mittlere Trias der Kristakopfschuppe. Untere Trias, also Buntsandstein der Kristakopfschuppe, wurde im Stollen nicht angetroffen. Im Muschelkalk wurde eine Vortriebsleistung von 26 m/d, in den Partnachsichten von 32,5 m/d und im Arlbergkalk von 33 m/d erreicht.

## Literatur

### 1. Geologische Karten

- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R., REITHOFER, O. & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Rätikons, 1 : 25.000. – Geol. B.-A., Wien 1965.  
 HEISSEL, W., OBERHAUSER, R. & SCHMIDEGG, O.: Geologische Karte des Walgtaus, 1 : 25.000. – Geol. B.-A., Wien 1965.

### 2. Schrifttum

- BERTLE, H., FURRER, H. & LOACKER, H.: Geologie des Walgtaus und des Montafons mit Berücksichtigung der Hydrogeologie, 1979, Jber. Mitt. oberrhein. G. V., NF. 61.  
 BLASER, R.: Geologie des Fürstentums Liechtenstein, Selbstverl., Hist. Verein f. d. Fsm. Liechtenstein, 1952.  
 INNERHOFER, G.: Der Walgaustollen – Projekt und Bauerfahrung. – Felsbau, 1 (1/2), 1983.  
 –: Wirkung des Klufwasserdruckes auf einen Felskörper. – Felsbau, 2 (1), 1984.  
 –: Die Wasserkraftanlage Walgauwerk der Vorarlberger Illwerke AG. – Österr. Wasserwirtschaft, Heft 5/6, 1983.  
 INNERHOFER, G. & LOACKER, H.: Der maschinelle Ausbruch des 21 km langen Walgaustollens, ICOLD-Congress, Melbourne 1983.

- LOACKER, H.: Berg- und Grundwasser im Illgebiet. – Wien, Verh. geol. B.-A., 1971, Heft 3.
- : Geologische Vorarbeiten für den Bau des 21 km langen Walgaustollens der Vorarlberger Illwerke AG. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10/5, Okt. 1980.
- : Walgauwerk, Geologische Voraussetzungen und bautechnische Verhältnisse, ÖZE, in Vorbereitung.
- OBERHAUSER, R.: Die Überkipppungserscheinungen des Kalkalpensüdrandes im Rätikon und im Arlberggebiet. – Wien, Verh. Geol. B.-A., 1970, Heft 3.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 14. November 1985.