

Geologie und Hydrologie des Autotunnels der SBB

Autor(en): **Bendel, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **119/120 (1942)**

Heft 24

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-52378>

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.

INHALT: Geologie und Hydrologie des Axentunnels der SBB. — Nochmals Zyklopenmauerwerk und Baustein. — Beleuchtungsprobleme in Bilder-Ausstellungen. — Mitteilungen: Eidgen. Technische Hochschule. Ein elektromagnetischer Schnittdruck-Indikator. Die G. A. B., Gesellschaft selbständig praktizierender Architekten. Bauvolumen-Statistik. Wirtschaftliche Geschwindigkeit in Kanälen mit freiem Wasserspiegel. Ecole

d'architecture à l'Université de Lausanne. Jubiläum des Technikums Burgdorf. Association genevoise pour la navigation fluviale et le Port de Genève. — Nekrologe: Hans Altwegg. Gustav Gull. — Wettbewerbe: Ideenwettbewerb Bebauungsplan Pfäffikon (Zürich). Erweiterung der Gerichtsgebäude Basel. Billige Wohnhaustypen für Luzern. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 119

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 24

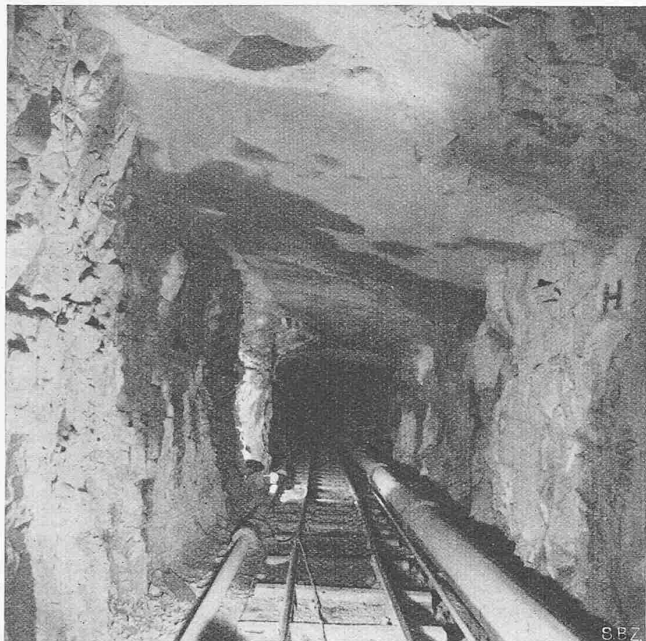


Abb. 4. Stollenprofil in geschichtetem Fels. Hm 5,32 Nord

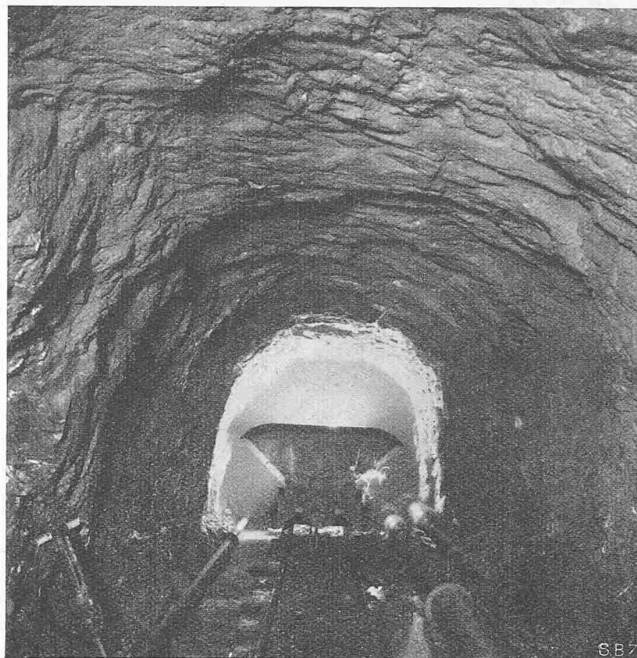


Abb. 5. Stollenprofil in massivem Gestein. Hm 12,3 Nord

Geologie und Hydrologie des Axentunnels der SBB

Von Ing.-Geologe Dr. L. BENDEL, Luzern

[Wir danken den Herren Kreisdirektor Ing. C. Lucchini und Obering. W. Wachs (Luzern) für die Erlaubnis dieser Veröffentlichung noch vor Bauvollendung. Red.]

Stratigraphie

Die Gesteine, die beim Bau des Axentunnels angetroffen wurden, gehören zur unteren Kreide und zum Flysch (Tertiär). Sie bestehen aus Kalken, Mergeln und Schiefen. Die stratigraphische Einteilung der Steine geht aus der untenstehenden Uebersichtstabelle zum geologischen Längenprofil hervor.

Entstehung der Gesteine

Die Gesteine sind ursprünglich in der Nähe der Nordküste eines einst sehr grossen Mittelmeeres, von den Geologen Thetys genannt, abgelagert worden. Die ersten Ablagerungen waren in der Kreidezeit Tiefsee-Ablagerungen. Die Meerestiefe änderte aber im Laufe der Zeit, teilweise infolge Auffüllung des Meeresgrundes durch Sedimentation, teilweise infolge tektonischer Einflüsse. Im Zusammenhang damit änderte die Art der petrographischen Zusammensetzung der Ablagerungsprodukte.

Stratigraphie der Gesteinsserie beim Axentunnel

Gehängeschutt

Moräne

Schächenthaler-Flysch (Schiefer und Sandstein)

Tertiär	Pectenidschiefer = Auversien	} Eocän
	Numulithenkalk = Lutetien	
Untere Kreide	Oberer Schrattekalk	} Aptien
	Orbitolina-Schiefer	
	Unterer Schrattekalk	} Barémien
	Drusberg-Schiefer	
Kreide	Kieselkalk = Hauterivien	} Neokom
	Valangienkalk und Valangien-Mergel	
	Berrias-Kalk und Berrias-Mergel	} Valangien im weiteren Sinne

Man kann zwischen Ablagerungen aus der Flachsee, sog. nerithischen Ablagerungen mit Tiefen von 0 bis 200 m, und solchen aus der Tiefsee, sog. bathyalen Fazies mit Tiefen von 200 bis 1000 m unterscheiden. Die Zusammensetzung der Ablagerungsprodukte änderte im Laufe der Zeit, sowie auch die Art der Lebewesen, deren Variationen an Hand der Petrefakten noch heute festgestellt werden können.

Während des Zusammenschrumpfens der Erde wurden Teile der überschüssig werdenden Gesteinsmassen der Thetys von Süden nach Norden über das bestehende Aaremässig geschoben. Die Massen, die heute im Gebiete des Axenbergunnels angetroffen werden, stammen aus einem Gebiet, das auf einer Linie zwischen Rhone-Rhein liegt, aus der sog. Wurzelzone von Gampel (Wallis) bis zum Calanda; die verschobenen Schichtkomplexe werden Decken genannt. Man unterscheidet eine grosse Anzahl von Decken, wie z. B. helvetische Decken, penninische Decken usw.; sie haben sich z. T. überlagert. Die Gesteine beim Axentunnel gehören zur Axendecke, die die mittlere, helvetische Decke bildet. Die Axendecke hat sich bei ihrer Verschiebung tief in die Ablagerungen hineingepresst, die aus dem Tertiärmeer stammten, das sich damals längs des Nordrandes der immer noch aufsteigenden Alpen hinzog. Während dieses Vorganges sind sowohl die Gesteine der Axendecke, als auch jene des ehemaligen Tertiärmeeres physikalisch äusserst stark beansprucht worden. So sind die zahlreichen Verwerfungen, Längs- und Querverschiebungen, Veränderungen in der chemischen und physikalischen Gesteinszusammensetzung erklärlich.

Im Gebiete des Axentunnels wurde nach Alb. Heim die Stirne der Axendecke in zwei Lappen aufgespalten, nämlich in einen Nordlappen, der von Sisikon bis Axenmättli reicht, und in einen Südlappen, der vom Axenmättli bis zum Gruonbach auftritt. Zwischen die beiden Lappen wurde beim Axenmättli tertiäres Material von unten in Form einer verkehrten Mulde in das Gestein hineingepresst.

Geologische Vorarbeiten, Voraussage und Wirklichkeit

Für die geologischen Vorarbeiten standen die Arbeiten von Alb. Heim «Geologie der Schweiz», Tafel XIX samt Beschreibung, A. Buxtorf, Führer durch die Geologie der Schweiz und die geologische Karte vom Vierwaldstättersee Masstab 1:50 000, sowie eigene, bis jetzt unveröffentlichte Aufnahmen zur Verfügung. Die vorhandenen Angaben genügten aber nicht für die Erstellung des geologischen Längenprofils im Masstab 1:2500 (Abb. 1).

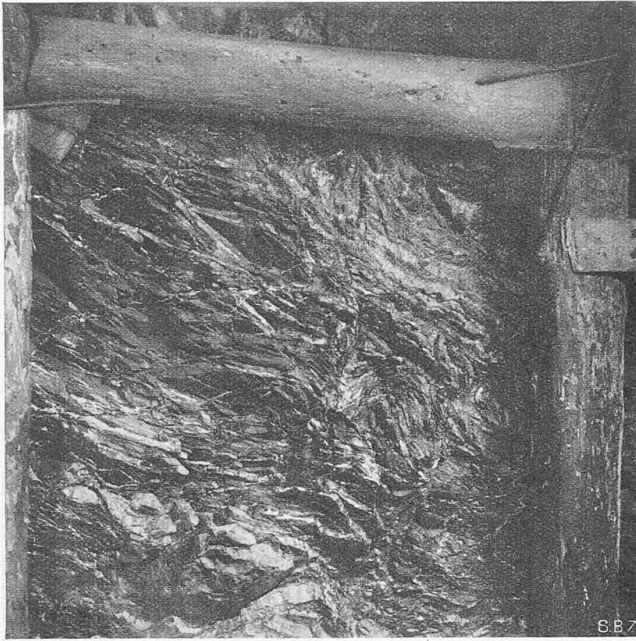


Abb. 6. Flysch, mit zahlreichen Verfaltungen und kleinen Verwerfungen bei Hm 2,90 Süd (bergseitiges Widerlager)



Abb. 7. Flysch-Schiefer bei Hm 1,90 Süd (bergseitiges Widerlager)
Sämtliche Photos Rich. Aschwanden, Altdorf

Es mussten deshalb neue Detailstudien im Feld durchgeführt werden. Um nach den Regeln der geologisch-geometrischen Konstruktionsprinzipien arbeiten zu können, wurden auch geologisch-tektonische Erhebungen jenseits des Vierwaldstättersees, im Isental und Umgebung notwendig.

Besondere Sorgfalt wurde auf die Ermittlung der Verwerfungen und Verschiebungen gelegt. So wurden z. B. konstruktiv Verwerfungen bei Hm 14,40 Nord ermittelt; angetroffen wurden sie von Hm 14,38 bis 14,41 (Abb. 1/2). Bei 14,41 stürzte ein rd. 17,2 m hohes Kamin ein (Abb. 3). Ferner wurde eine mächtige Verwerfung bei Hm 13,68 Süd vermutet; angetroffen wurde sie bei 13,75 Süd (Abb. 8). Die Konstruktion der Verwerfungen war umso schwieriger, als diese teilweise von einem Mantel mit fremder Gesteinsart (Berrias und Juragestein) überdeckt waren. Die Verwerfungen und Verschiebungen traten nur seitlich von der Axenstrasse und jenseits des Sees zu Tage; die Anhaltspunkte waren also dürftig. Mit Hilfe von Kartonmodellen und nach den Regeln der darstellenden Geometrie wurde ihr

Verlauf entwickelt. Die beim Tunnelbau, bis rd. 800 m innerhalb der sichtbaren Oberfläche, in bemerkenswerter Uebereinstimmung mit der Prognose angetroffenen Gesteinsverhältnisse bestätigten dann die Richtigkeit der Ueberlegungen.

Aus den Profilen nach Abb. 1/2 geht hervor, welche Gesteine und tektonischen Verformungen vermutet und welche in Wirklichkeit angetroffen wurden. Die Uebereinstimmung befriedigt umso mehr, als wegen den hohen Gestehungskosten von einigen hunderttausend Franken je Bohrloch keine Bohrungen gemacht worden waren. Von den billigen geophysikalischen Verfahren, wie z. B. Bestimmung der Emanation über den Verwerfungen mit Hilfe von Elektroskopen usw. wurde ebenfalls abgesehen, da sie keine Werte liefern können, die im vorliegenden Fall geologisch eindeutig zu bewerten waren. Deshalb wurde in der Voraussage geschrieben: «Beim Gesteinspaket, das zwischen den Verwerfungen Hm 14,50 und 18,00 N auftritt, sind relativ kleine Zwickel von Valangienkalk und Schratzenkalk im geologischen Längenprofil eingezeichnet. Durch Zufälligkeiten bei der Ent-

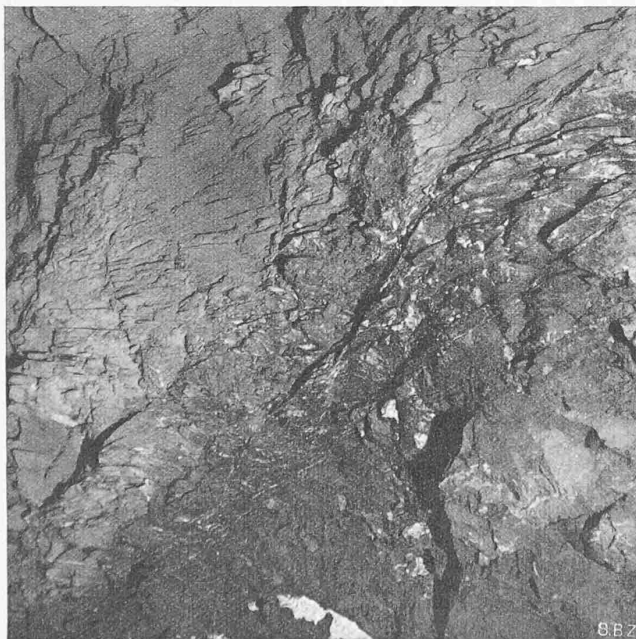


Abb. 8. Uebergang vom Kieselkalk (unten rechts) in die Drusbergschichten (oben links) bei Hm 1,375 Süd

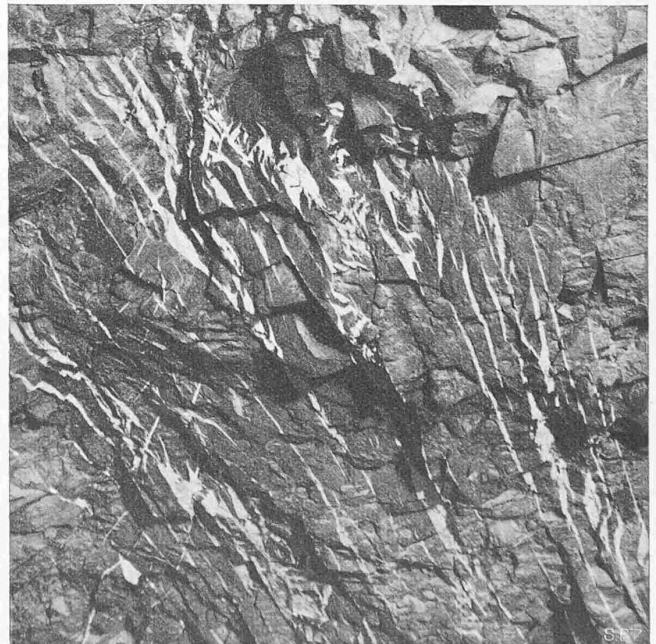


Abb. 9. Stark zerrüttete Kieselkalkzone mit auskristallisierten Calcit-Adern und -Einschlüssen. Stollenfirst bei Hm 10,4 Süd

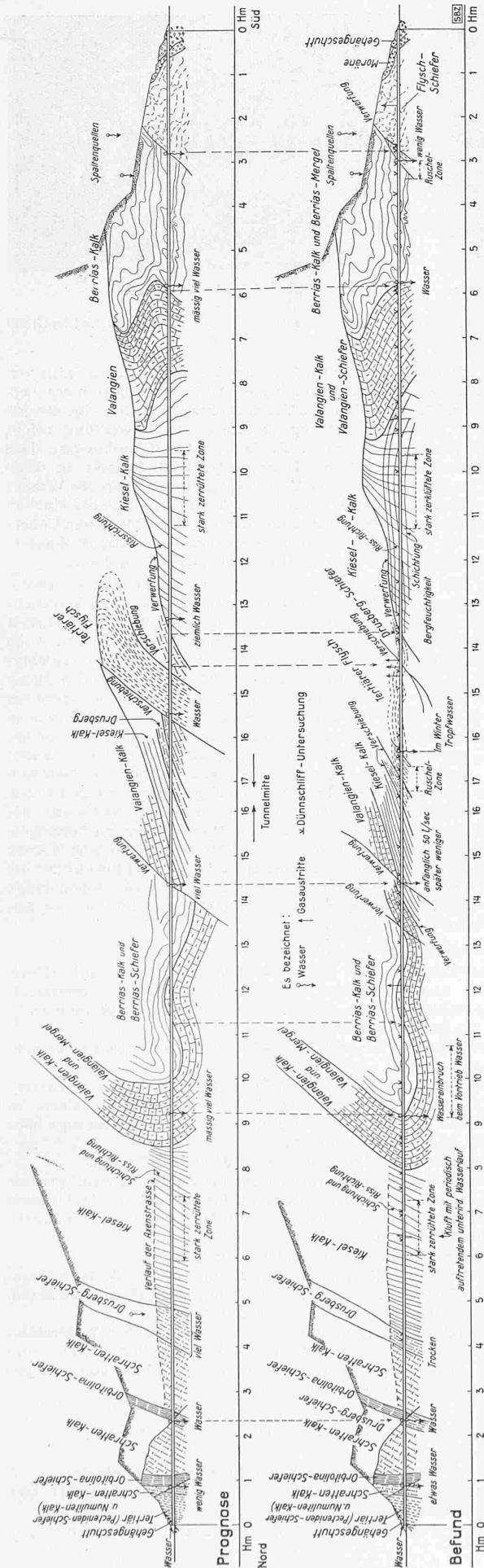


Abb. 1 (oben). Geologisches Prognose-Profil des Axentunnels der SBB nach dem geologischen Gutachten von Ing. Geologe Dr. L. Bendel, Luzern, vom Juli 1939. — 1:12500 (Original 1:2500)
 Abb. 2 (darunter). Desgleichen gemäss Befund nach Aufschluss des Gebirges durch den am 10. Januar 1942 durchgeschlagenen Richtstollen (vgl. Seite 32 dieses Bandes)

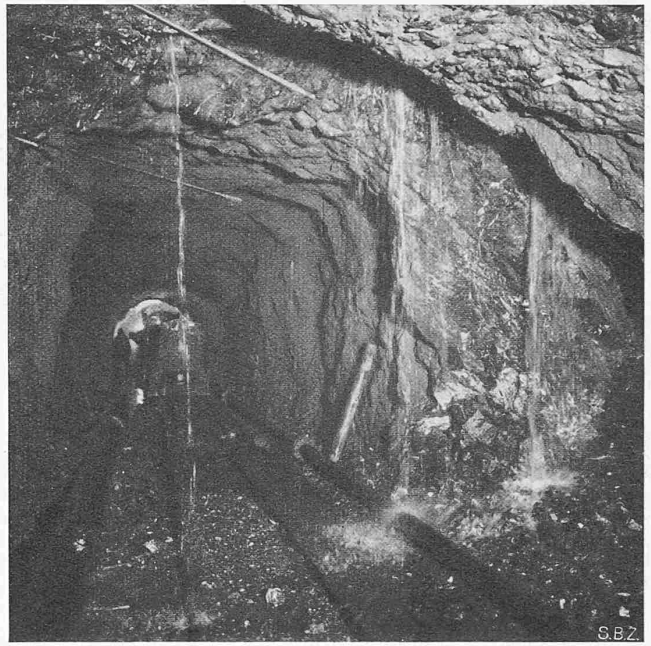


Abb. 10. Wassereinbruch bei Hm 9,14 Nord (Aufn. 23. IV. 41)

stehung des Axengebirges ist es möglich, dass diese Schichten mächtiger angetroffen werden als eingezeichnet oder dass sie ganz verschwinden. In Wirklichkeit wurde der zwischen Valangienkalk und Schratzenkalk vermutete Kieselkalk angetroffen. Vermutet wurde er mit 168 m Mächtigkeit; in Wirklichkeit trat Kieselkalk auf 177 m Länge auf. Hingegen sind die Valangien- und Schratzenkalkzwickel nicht mehr zum Vorschein gekommen.

Vermutet wurde ferner eine tertiäre zwischen die Kreide eingekeilte Flyschmasse mit einer starken, kuppenartigen Erweiterung oberhalb des Tunnels; in Wirklichkeit ist dieses tertiäre Material einwandfrei angetroffen worden. Aus der Lage und Mächtigkeit des tertiären, von zahlreichen Globigerinen und Muskovitglimmer durchsetzten Gesteines ist zu schliessen, dass die tertiäre Kuppe nicht nur wie vermutet oberhalb des Tunnels liegt, sondern bis in den Tunnel hinabreicht.

Die übrigen geologischen Angaben in der Prognose stimmen mit der Wirklichkeit, namentlich was die Gesteinsfolge anbelangt, gut, z. T. überraschend genau überein. Die Ueberprüfung der zahlreichen Gesteinsdünnsschliffe übernahm Dr. de Quervin, Adjunkt der geotechnischen Kommission, wofür ihm auch an dieser Stelle gedankt sei. Jüngere Geologen deuten einige Aufschlüsse im Tunnel etwas anders, als es im geologischen Längensprofil geschehen ist. Allein das Auftreten der wichtigsten Verwerfungen und Gesteinsarten an den Stellen, an denen sie vermutet wurden, lässt den Schluss zu, dass die Ueberlegungen zur Konstruktion des geol. Längensprofils richtig waren und dass kein Grund vorliegt, von den gewählten Deutungen der Feldaufnahmen und der angewendeten geometrischen Methode abzuweichen.

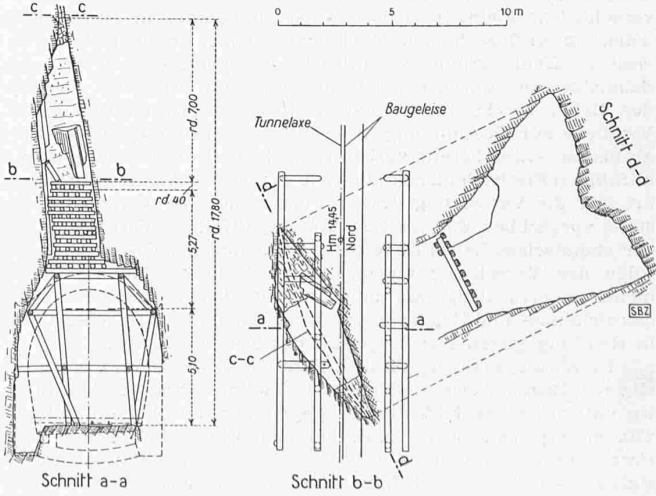


Abb. 3. Grosse Kluft in der Verwerfung bei Hm 14,41 Nord. — 1:300

Es ist oft schwierig, die genauen Uebergänge von einer geologischen Stufe oder Schicht zur andern zu bestimmen, denn die Uebergänge sind manchmal unscharf. Schwierigkeiten bietet bisweilen auch die Auseinanderhaltung von echter Schichtung und wilder Klüftung. Detailstudien über die Unterteilung der geologischen Stufen in Zonen und einzelne Schichten hat die schweiz. geologische Kommission übernommen.

Versteinerungen

Das durchfahrene Gebirge zeichnete sich durch eine grosse Armut an makroskopisch grossen Fossilien aus. In den Orbitolinenschiefen wurde die platt gedrückte *Orbitolina lenticularis* gefunden, im untern Schraffenkalk Austern (*Exogyra sinuata*), im Kieselkalk *Toxaster*-Arten, im Valangien *Exogyra Couloni* und in einzelnen tertiären Schichten Numuliten. Mikroskopisch sind zahllose Reste von Echinodermen und Globigerinen gefunden worden.

Einbau

Im Flysch der Südseite (Abb. 6 u. 7) musste auf rd. 400 m Länge ein durchgehender Holzeinbau eingezogen werden. Sonst wurde ein Schutzeinbau nur auf kürzere Strecken bei Verwerfungen im tertiären Material und im zerruschelten Berrsiasmergel notwendig. Der Kaminausbruch bei Hm 14,41 Nord erforderte einen starken Einbau. Der tertiäre Flysch zeigte unter dem Einfluss der Tunnelluft Zerfallerscheinungen und erforderte an mehreren Orten nachträglichen Einbau.

Wasserverhältnisse

Wasser an der Erdoberfläche. Das Einzugsgebiet aller Quellen liegt in der Kreide und in Kreidekalk-Schutt. An 25 Quellen, die oberhalb und seitlich des Tunnels liegen, wurden seit dem Frühjahr 1939 regelmässig Ergiebigkeit, Temperatur und Totalhärte bestimmt. Aus dem Beobachtungsmaterial ergibt sich, dass die meisten Quellen geologisch beurteilt Schuttquellen, chemisch beurteilt mittel bis ziemlich hart sind. Die Härtegrade zeigten eine mittlere Streuung von 9,6 bis 13° d Härte; der Mindestwert aller Messungen betrug 7°, der Höchstwert 22° d Härte. Nach der Ergiebigkeit beurteilt sind die Quellen wenig ertragreich; die Ergiebigkeiten ergaben eine mittlere Streuung von 1,5 bis 9,8 l/min; der Mindestwert war null und der Höchstwert 22 l/min. Die Härte wurde nach der Seifentitrationmethode von Boutron-Boudet bestimmt.

Besonders erwähnenswert ist ein Wassersystem, bei dem auf einer Höhe von 1320 m Sickerwasser aus einem Bachbett gefasst wird. Auf 1180 m Höhe wird alles Wasser in einen Brunnen trog laufen gelassen. Das Abwasser sickert in die Tiefe, wo es wieder als «Quellwasser» gefasst und zu einem Brunnen geleitet wird. Als Abwasser sickert es wieder talwärts und die gleiche Art «Quellfassung» wiederholt sich viermal.

Wasser im Tunnel. Bei der geologischen Neukartierung der Umgebung des Axentunnels konnte festgestellt werden, dass verschiedene kleine Seen östlich der Tunnelaxe nur einen unterirdischen Abfluss haben. Nach schriftlichen Angaben des uralten Kantonsförsters entleert der grösste Bergsee sein Schmelzwasser durch einen Höhlengang mit Ausgang oberhalb der Stelle, die bei 300 m Süd im Längenprofil angegeben ist. Versuche zur Bestimmung des unterirdischen Weges von Seeabflüssen waren bereits vorbereitet, als die Durchführung wegen allfälligen Fischschadens unterbleiben musste. Als Bestimmungsart war die Versalzung des Seewassers an der Versickerungsstelle vorgesehen und die Bestimmung allfälliger Veränderungen der chemischen Leitfähigkeit der verschiedenen Quellwässer infolge der Versalzung angeordnet. Bei dieser Sachlage blieb nichts anderes übrig, als nach den Angaben anzunehmen, dass das Schmelz- und Regenwasser durch einen unterirdischen Gang in Richtung gegen das Südportal des Tunnels fliesst.

In Wirklichkeit ergab sich, dass ein Teil des Wassers nach starken Regengüssen und nach der Schneeschmelze sich durch ein unterirdisches Klüftungssystem gegen den nördlichen Teil des Tunnels ergiesst. So ist z. B. bei Hm 6,45 N im geologischen Prognoseprofil eine stark zerrüttete Zone vermutet worden; sie wurde auch dort angetroffen. Durch eine mächtige Spalte strömen dort nach starken Regengüssen bis zu 1000 l/s hindurch;

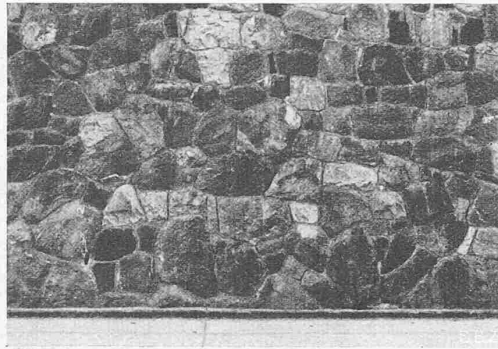


Abb. 3. Wirkung bei diffusum Licht Futtermauer an der st. gall. Wallenseestrasse.

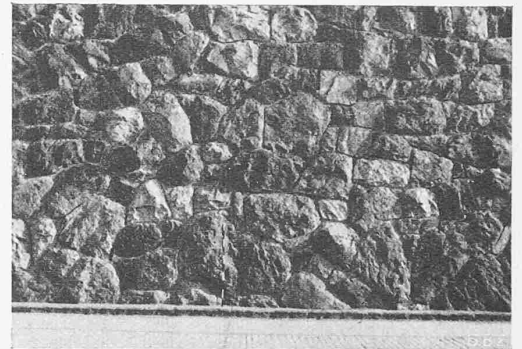


Abb. 4. Ansicht im Streiflicht

die Temperatur betrug nur 7 bis 8° C, d. h. die Temperatur von Oberflächenwasser. Die geologischen Aufnahmen hatten ergeben, dass in rd. 750 m östlich des Tunnels parallel zu ihm eine starke, rd. 2000 m lange Verwerfung verläuft. Die Verwerfung reicht bis zum Riemenstalderbach. Es ist nicht ausgeschlossen, dass der Riemenstalderbach bei Hochwasser auch Wasser in diese Verwerfung abgibt. Aus der Verwerfung fliesst dann das Wasser in der oben geschilderten Kluft in den Tunnel. Infolge des starken periodischen Wasserzudrangs und den damit verbundenen Uebererschwemmungen wurde vom Tunnel aus ein 300 m langer Wasser-Entlastungsstollen nach dem Vierwaldstättersee gebaut.

Bei Hm 9,20 N wurde eine Quelle vermutet und im geologischen Längenprofil der Prognose eingezeichnet. In Wirklichkeit trat eine starke Quelle bei 9,14 m auf; ihre Ergiebigkeit betrug max. 20 l/s, ihre Härte war anfangs 9° dH (Abb. 10). Auch südlich davon trat Wasser in verschiedenen kleineren Ergiebigkeiten auf, so z. B. bei Hm 13,23 und 13,73. Die Temperatur dieser Wasser betrug konstant 10° C. Eine grössere Quelle wurde bei 14,35 bis 14,38 m Nord angetroffen; vermutet wurde sie, wie in der geologischen Voraussage schriftlich niedergelegt war, in der Verwerfung bei 14,40 m. Ihr Einzugsgebiet wurde mit rd. 3 km² Grösse angenommen. Bei einer Niederschlagshöhe von 1000 mm im Jahr betrüge die durchschnittliche Ergiebigkeit rd. 25 l/s. Die Quelle wies zuerst eine Ergiebigkeit bis gegen 60 l/s auf, um allmählich abzunehmen und dann im Winter ganz zu versiegen. Auch beim Vortrieb südlich von Hm 14,40 N angetroffene Wasser versiegten mit der Zeit, wobei die Härte von 9° dH bis auf 28° dH stieg. Daraus ist zu schliessen, dass dieses Wasser schon lange in den engen Gesteinsporen angestaut war und infolge des Anstichs beim Vortrieb auslief.

Chemische Untersuchungen des Tunnelwassers

Das Tunnelwasser wurde verschiedene Male auf Härte, Schwefel- und Eisengehalt, sowie auf die Stärke der Wasserstoffjonenkonzentration untersucht. An Werten wurde gefunden: Härte: 7° bis 28° d Härte.

Schwefelgehalt: Sulfat als SO₃ = 157 mg/l (Betongefährlich sind erst 300 mg/l).

Eisengehalt: Eisen = 0,26 mg/l. Dieser Eisengehalt des Wassers genügt, um Ausscheidungen von Eisenoxydhydrat zu bilden. In der Tat sind an verschiedenen Stellen rostbraune Ueberzüge über dem Gestein gefunden worden.

Magnesiumgehalt: Magnesiumoxyd MgO = 89,3 mg/l.

Wasserstoffjonen-Konzentration: Die pH-Zahl ist überall grösser als 7 gefunden worden, meistens 7,2 bis 7,8, d. h. es lagen stets neutrale Reaktionen vor. Eine Betongefährdung ist hieraus nicht zu befürchten.

Der elektrische Widerstand betrug beim
Quellenaustritt: Hm 3,30 S 3170 Ω cm, bei 5,80 S 2090 Ω cm,
Wassereinbruch: Hm 6,45 N 6200 Ω cm, bei 9,14 N 4150 Ω cm,
Alpelensee über dem Tunnel 8000 Ω cm.

Normales Grundwasser weist einen elektrischen Widerstand von 4000 bis 10000 Ω cm auf. Die beiden Quellen 330 m S und 580 m S rochen nach Schwefel und wiesen deshalb einen so geringen elektrischen Widerstand auf.

Chemische Untersuchung des Gases

Aussehen der Probe: Farbloses Gas von Hm 1,75 Süd.

Analysenergebnis:

1. Orientierende Analyse nach der technischen Methode:
Prozentualer Gehalt an: Sauerstoff, O₂ 14,8, Methan, CH₄ 26,4 und Stickstoff, N₂ 58,8.

2. CO-Gehaltbestimmung im Exaktapparat: CO-Gehalt 0,0 Vol. %.