

Geologie im Bereich Adlertunnel: ein Eindruck der geologischen Situation

Autor(en): **Hauber, Lukas / Nober, Hans Peter / Meyer, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 49/50: **Adlertunnel**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80012>

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.

Geologie im Bereich Adlertunnel

Ein Eindruck der geologischen Situation

Der Adlertunnel liegt im nördlichsten Abschnitt des Tafeljuras in der Nordwestschweiz. Er führt aus dem Rheintal vom Bahnhof Muttenz in Richtung Südost in das Ergolzthal zwischen Frenkendorf und Liestal. In diesem Teil des Tafeljuras herrschen die Gesteine von der oberen Trias (Keuper) bis zum mittleren Jura (Dogger) vor. Es handelt sich weitgehend um tonig-mergelige Gesteine mit einzelnen karbonatischen Zwischenlagen. Im Keuper treten auch leicht lösliche Sulfate in Form von Gips und Anhydrit auf. Kennzeichnend für diese Gesteinsabfolge ist die leichte Verwitterbarkeit der mergelig-tonigen Bereiche und die hohe Löslichkeit der Sulfate, die entsprechend der Wasserwegsamkeit auch bis in grössere Tiefen reichen kann.

Bei den sulfathaltigen Gesteinen sind auch verschiedene Arten der Verwitterung zu berücksichtigen. Wird das Sulfat herausgelöst, so bleibt oft nur noch ein Residuum aus krümelig desintegrierten Mergeln übrig. Im Extremfall können Verkarstungserscheinungen auftreten. In anderen Fällen wird das Sulfat, das in frischem Zustand als Anhydrit vorliegt, durch Wassereinflüsse in Gips umgewandelt. So liegt das Sulfat in Oberflächennähe meist als Gips und in grösseren Tiefen als Anhydrit vor. Diese Umwandlung ist sehr oft von starken Drückerscheinungen begleitet.

Zur tiefgründigen Verwitterung trägt vor allem die Wasserzirkulation bei, die als Schichtwasser im Gansinger Dolomit und Liaskalken, aber auch als Kluftwasser im Bereich von tektonischen Störungen (Brüche, Verwerfungen, Klüfte) auftritt. Die Störungen gehören den rheintalisch ausgerichteten Verwerfungen an, die im

Zusammenhang mit dem Einsinken des nahen Rheingrabens zwischen Schwarzwald und Vogesen während des unteren Tertiärs entstanden sind. Die Ausbildung des Adlerhofgewölbes (Überschiebungen) wird als Folge des Abgleitens der Sedimentdecke über den Salzschichten während der tertiären Hebung des Schwarzwaldes angesehen (Bilder 1 und 2).

Geotechnische Probleme bei der Tunnelzufahrtstrecke

Der Bau der Neubaustrecke zwischen Muttenz und Liestal stellte den Geotechniker vor die verschiedensten geotechnischen Probleme. Dieser konnte nahezu sein ganzes Arbeitsspektrum anwenden. Insbesondere bot die Strecke zwischen Muttenz und dem Portal des bergmännisch erstellten Tunnels mit der Grubenquerung und den Setzungsphänomenen in der Lachmatt nicht alltägliche Herausforderungen. Im Gegensatz dazu ergab die Tagbaustrecke Süd keine aussergewöhnlichen Problemstellungen.

Grubenquerung

Die Neubaustrecke durchquert ab dem Stammgeleise bei Muttenz ein System von Kiesgruben, das Auffüllungen verschiedenen Alters mit bis zu 20 m Mächtigkeit aufweist. Die Neubaustrecke, das neuverlegte Stammgeleise Zürich-Basel sowie das dazugehörige Überwerfungsbauwerk mit den Anschlussdämmen und Einschnitten kamen in diesen Grubenbereich zu liegen. Dessen Auffüllungen waren noch Eigensetzungen (Konsolidation) unterworfen. Grosse und vor allem unkontrollierbare Setzungen und Setzungsdifferenzen waren für diese Bauteile zu erwarten. Als zweckmässige Lösung wurde eine Bodenverbesserung mittels einer Rüttelstopfverdichtung gewählt. Das System: Niederbringen eines Vibrators, der das anstehende Bodenmaterial verdrängt bzw. verdichtet sowie Verfüllen und Stopfen des entstandenen Hohlraumes mit Kies.

Anhand eines Grossversuches mit verschiedenen Rasteranordnungen der Stopfsäulen wurde vorgängig die Wirkung dieser Massnahme ermittelt, damit für den Grosseinsatz die optimalen Raster gewählt werden

konnten. So wurde nach folgenden Rastern vorgegangen:

- 2,5 m²/Stopfsäule: Bei der Fundation des Überwerfungsbauwerkes
- 3,5–4,5 m²/Stopfsäule: Bei Trasseeschüttungen und Dammbauten je nach Schütthöhe
- 5,0–5,5 m²/Stopfsäule: In Einschnitten als Homogenisierung des Untergrundes

Die mit Schwerstgerät erstellten 4000 Stopfsäulen mit insgesamt rund 45 km Stopflänge konnten ohne namhafte Probleme erstellt werden.

Die Setzungsmessungen ergaben im Zeitintervall von 75 Monaten Totalsetzungen von rund 170 mm bei einer Belastung von 180 kN/m². Entsprechend dem zeitlichen Verlauf der Setzungen scheinen diese nun weitgehend abgeklungen zu sein. Nebst der Beschleunigung des Setzungsvorganges und dem früheren Erstellen des Gleisoberbaus wurde durch diese Baumassnahme auch das Setzungsmass um den Faktor 2,5 bis 3 reduziert.

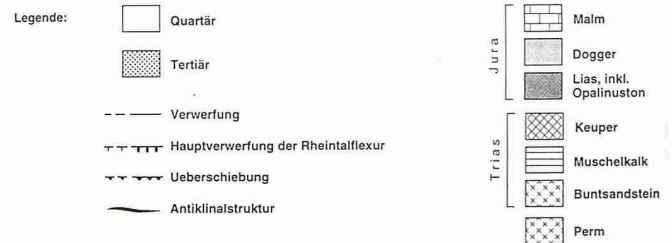
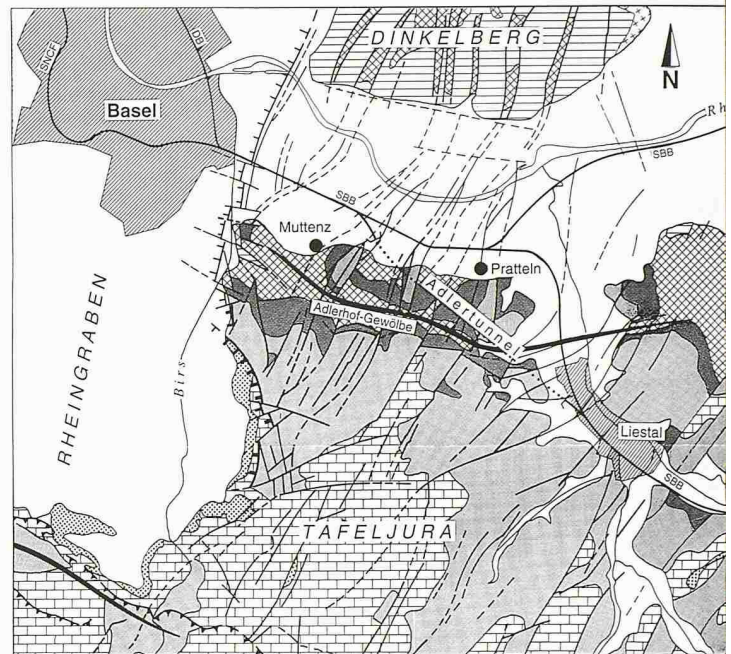
Nachdem das Tunnelportal in die Grubenbereiche verlegt wurde und dort die Grubensole aus verkarsteten Felsformationen mit Dolinengefahr (Karsteinstürze) bestand, wurden diese Kiessäulen mit einer Zement/Bentonit-Suspension vermörtelt. Dies verhindert, dass bei Dolinenbildung die Kiessäulen nach unten ausrieseln oder nach der Seite ausweichen können. Weiter erforderte die Grubenquerung bis zu 40 m hohe, steile Dammbauten, da der Grubenbetrieb weiter aufrecht erhalten bleiben und der Tunnelausbruch materialkonform deponiert werden musste.

Tagbaustrecke Nord

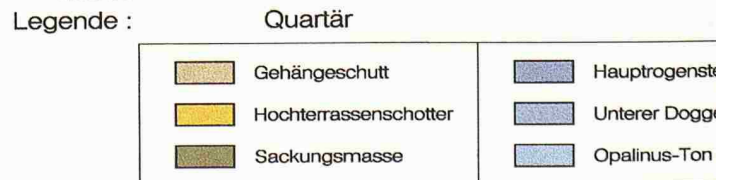
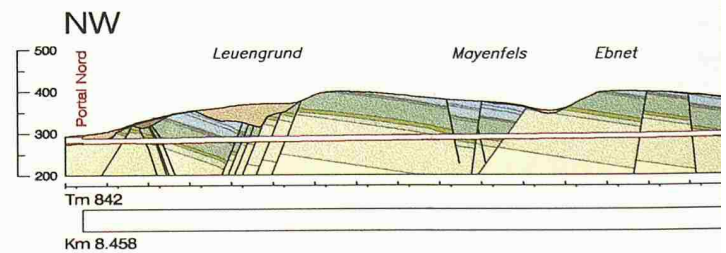
Der Tagbauabschnitt des Tunnels in der Lachmatt war in den an sich problemlosen Rheinschottern zu erstellen. Es war aber bekannt, dass unter diesen Schottern der karbonatische Obere Muschelkalk liegt, der hier stark verkarstet ist. In der Region MuttENZ/Pratteln hatten sich wiederholt Karsteinstürze, sogenannte Dolinen, ereignet (über 20 Dolinen in den letzten 40 Jahren). Bautechnisch wurde deshalb auf diese Situation Rücksicht genommen, indem der Tunnel als durchgehend bewehrte Röhre erstellt wurde. Der Tunnel vermag so – analog einer Brücke – unter ihm einstürzende Dolinen bis maximal 22 m Durchmesser ohne Beeinträchtigung der Gebrauchssicherheit zu überbrücken. Die Grösse dieser «Normdoline» wurde anhand von Beobachtungen und geotechnischen Überlegungen definiert.

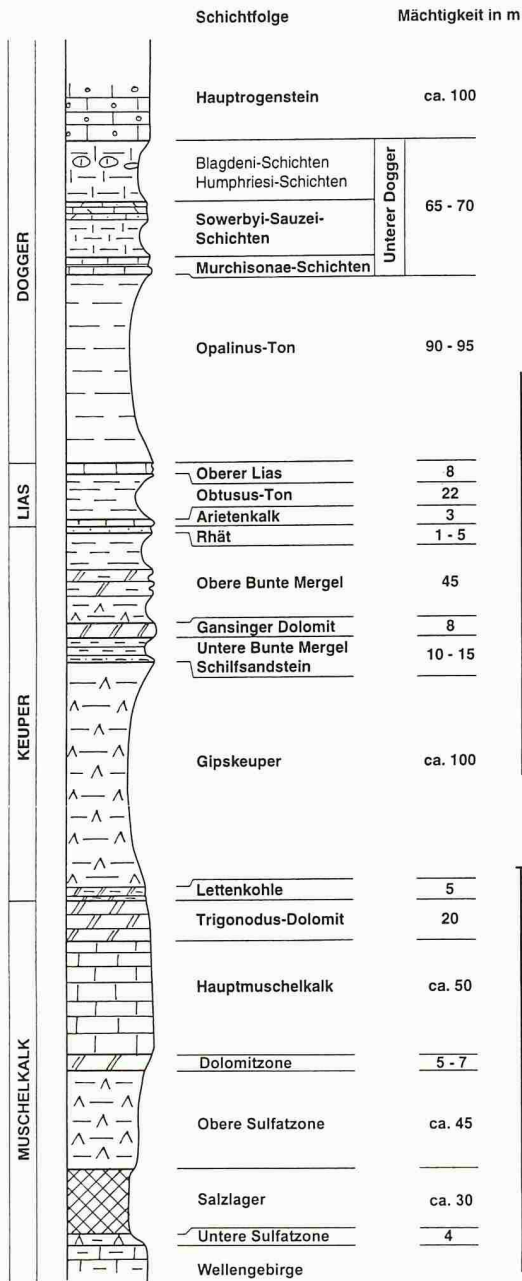
Neben der Normdoline wurde auch eine grossflächige Senkungsmulde (Durchmesser rund 100 m) als mögliches Setzungsszenario definiert. Diese Mulde, deren Lage wie die der Doline nicht fixiert ist, wird mit einer flächigen Auslaugung begründet, deren Auftreten langsam über Jahre bis Jahrzehnte erfolgen dürfte. Solche Senkungen wurden entlang der Traminie zwischen MuttENZ und Pratteln schon beobachtet.

Nach Fertigstellung des Tagbautunnels zeigten sich in einem Abschnitt von etwa 130 m unerwartet starke Setzungen, die das vorgegebene Mass erheblich überschritten. Es galt deshalb, die Ursache dieses Phänomens zu klären, um geeignete Gegenmassnahmen



1
Geologische Übersicht Region Basel

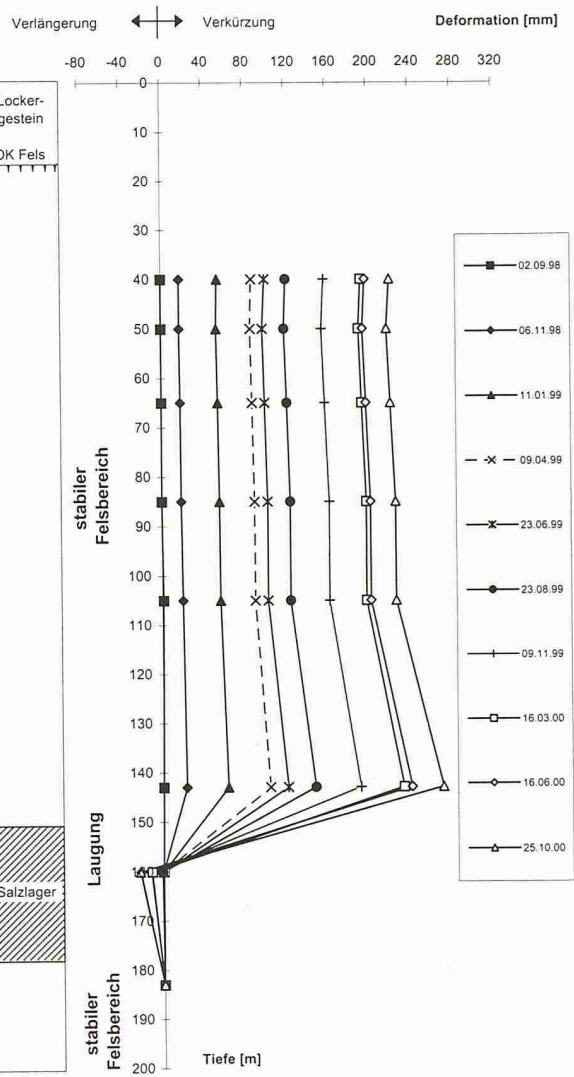




Durchörtete Schichten beim bergmännischen Tunnel

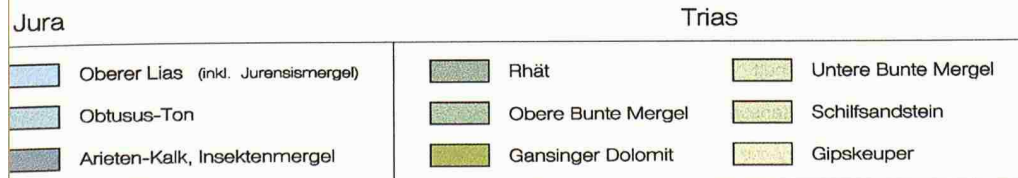
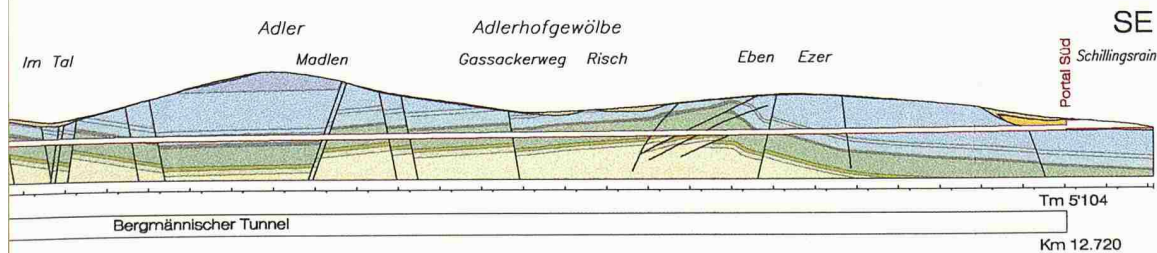
Felsuntergrund im Bereich Tagbaustrecke Nord (Lachmatt)

Bewegung relativ zum Anker 1 (Tiefe 183 m) [mm]



Messungen Stangenextensometer in Salzbohrung B17

2 Stratigraphische Übersicht über die Gesteine des Adlertunnels



4 Adlertunnel, geologisches Längenprofil

ergreifen zu können. Mehrere bis 190 m tiefe Bohrungen mit eingebauten Mehrfachextensometern (Bild 3) wiesen nach, dass das 10 m mächtige Dach des Salzlagers in rund 150 m Tiefe durch Wasserzirkulation angelöst wird (Subrosion). Als Folge davon entstehen Hohlräume, die Senkungen zur Folge haben. Erstaunlich dabei ist, dass sich die über dem Salzlager liegenden Schichten gemeinsam und «en bloc» absenken und die 130 m lange Senkungsmulde relativ scharfe Ränder aufweist. Eine Prognose über den weiteren Verlauf des in dieser Region bis anhin unbekanntes Vorganges ist aus geologischer Sicht nicht möglich. Es mussten deshalb Wege zur Gewährleistung des Bahnbetriebes unter Berücksichtigung anhaltend starker Bodensenkungen gesucht werden (Beitrag «Tagbaustrecke Nord, ein Tunnel auf Pressen»).

Bergmännischer Tunnelvortrieb

Der bergmännische Vortrieb und der TBM-Vortrieb (Vortrieb Tunnelbormaschine) waren gekennzeichnet durch die Einflüsse von Tektonik und Wasser, die zu den geringen Standfestigkeiten der wasserempfindlichen Ton- bzw. Mergelgesteine beitrugen. Dies wirkte sich vor allem im Bereich des bergmännischen Portals Nord erschwerend aus. In Oberflächennähe war die Entfestigung des Gesteins besonders hoch.

Probleme beim TBM-Vortrieb traten vor allem im Übergangsbereich von Gipskeuper zu Schilfsandstein/Untere Bunte Mergel respektive zum darüberliegenden Gansinger Dolomit auf. Da in den beanspruchten tonig-mergeligen Gesteinen teils nur geringe Kohäsion vorhanden war, bewirkte die Entspannung und vorhandenes Porenwasser eine rasche Trennung der einzelnen Klufkörper längs der Trennflächen. Die Ausrichtung der Kluffstrukturen in Richtung NNE-SSW und W-E und der Tunnelvortrieb in Richtung SE ergaben ungünstige Kluffkörper vor dem Bohrkopf und führten zusammen mit flach gelagerten Schichten zu Firstausbrüchen oder Ausbrüchen aus der Tunnelbrust.

Bei Wasserzuflüssen insbesondere in den wasserempfindlichen Schichten Untere Bunte Mergel/Schilfsandstein entstanden immer wieder Niederbrüche vor dem Bohrkopf. Bewässert wurden die Schichten durch den darüberliegenden wasserführenden Gansinger Dolomit. Durch die allgemein ostwärts einfallenden Schichten konnten sich hier bei grosser räumlicher Ausdehnung grössere Wasserdrücke einstellen, die das mergelige Material zu entfestigen vermochten. Beim TBM-Vortrieb erfolgte hier oft eine Ablösung der liegenden Mergelschichten, so dass bei ausgedehnten Deckenspannweiten Nachbrüche im Gansinger Dolomit provoziert wurden. Mittels vorgängig erstellten Entspannungs- bzw. Entwässerungsbohrungen von der Terrainoberfläche aus wurden weitere Problemzonen gut gemeistert.

Der Vortrieb hat jedoch gezeigt, dass bei der Durchörterung von tektonischen Störzonen nicht unbedingt Standfestigkeitsprobleme auftreten müssen. Die Bereiche «Leuengrund» und «Eben Ezer», die ebenfalls stark tektonisierte Gesteine aufweisen, konnte die TBM pro-

blemlos auffahren. Durch die starke tektonische Beanspruchung der Gesteine führte hier die Zirkulation von sulfathaltigen Wässern zu einer Verkittung des gestörten Gesteinsverbandes mit rekristallisiertem Gips. Die Schichten von Gipskeuper zu Oberen Bunten Mergeln zeigten daher gute Gesteinseigenschaften und konnten mit der TBM problemlos aufgefahren werden (Bild 4).

TBM-Vortrieb

Der bergmännische Vortrieb in der Lockergesteinsstrecke Nord und auf der TBM-Strecke war gekennzeichnet durch die Einflüsse der Tektonik in Kombination mit Wasser. Details sind dem Artikel «Das Projekt und die Bauausführung» zu entnehmen.

Quellen von Sulfatgestein

Eine der Hauptproblematiken für den Tunnel stellte das Anhydrit-Gipsquellen dar. Die im Labor ermittelten Quelldrücke von über sechs MPa belegen eindrücklich, welche Spannungen beim Quellen auftreten können. Um diesem Phänomen zu begegnen, wurde ein Ausbruch mittels Tunnelbohrmaschine gewählt, welcher sich schonend auf das umliegende Gestein auswirkt. Im weiteren wurde versucht, jegliche Wasserzirkulation im Tunnelnahbereich zu unterbinden. Der rasche Ringschluss mit dem Einbau der Tübbing und der Rundumvermörtelung hat sich dabei bewährt.

Messquerschnitte

Die langfristige Entwicklung des Quellvorganges wird mittels Nivellement auf der ganzen Tunnellänge und an vier installierten Messquerschnitten mit Deformations- und Spannungsmessungen verfolgt.

Lukas Hauber, Prof. Dr. phil., Schlossgasse 26, 4125 Riehen, Hans Peter Noher, dipl. Ing. ETH/SIA, Martin Meyer, dipl. Geologe, Geotechnisches Institut AG, Hochstrasse 48, 4002 Basel, Georges Horal, dipl. Geologe, Geotechnisches Institut AG, Gartenstrasse 13, 3003 Bern