

BILD 2: Neigungsänderungen im Profil 1 (von West nach Ost)

Beispiel

Als Beispiel außergewöhnlich starker Quell- und Schwellvorgänge ist die Anhebung des Straßenplanums der A 81 Stuttgart-Singen bei Oberndorf bekannt (KLEINERT & EINSELE 1978). Der Hebungsprozess dauert bereits seit über 20 Jahren an und hat ein Gesamtmaß von mehr als 2 m erreicht.

Die Autobahntrasse verläuft im fraglichen Bereich in zwei bis etwa 17,5 m tiefen Geländeeinschnitten in den Schichten des Gipskeupers (Grundgipsschichten; Abb. 1 und 2). Der Gipsspiegel, der die Grenze vom gipsfreien zum gipsführenden Gebirge markiert, liegt nur ca. 3 bis 8 m unter dem ursprünglichen Gelände. Der Anhydritspiegel (= Grenze zwischen gipsführendem und anhydritführendem Gebirge) befindet sich etwa 17 bis 20 m unter Gelände.

Die Hebungen (Abb. 3) setzten zuerst dort ein, wo der Anhydritspiegel am höchsten liegt. Die Tiefenwirkung des Quellprozesses betrug bereits nach ca. 2 Jahren rund 11 m.

Der Hebungsvorgang kann auf folgende Prozesse zurückgeführt werden:

- Gefügauflockerung der überkonsolidierten Tonsteine infolge Bodenabtrag.
- Rasches Quellen der wasserfreien Tonminerale (Volumenzuwachs ca. 10 bis 14%) bei gleichzeitiger Aufweitung und Entfestigung des Schichtgitters.
- Allmähliche Wasseraufnahme des Anhydrits und Umwandlung in Gips (Volumenzuwachs bis ca. 60%).
- Fortschreitende Auflockerung des Gebirgsverbandes durch zunehmende Quellhebung begünstigt Ausbreitung des Quellvorgang in die Tiefe.

Das beschriebene Beispiel der Sohlhebung in einem offenen Straßeneinschnitt stellt einen relativ seltenen Fall dar. Bei bergmännischen Tunnelbauwerken in Baden-Württemberg dagegen, wo vielfach Gipskeuperberggrücken mit anhydritführendem Gebirge durchfahren werden (z.B. Wagenburgtunnel Stuttgart, Engelbergtunnel A 81 bei Leonberg, Freudensteintunnel Neubaustrecke Stuttgart-Mannheim u.v.a.), spielen Probleme des Tonstein- und Anhydritquellens häufig eine dominante Rolle bei der Planung und Ausführung.

Neben einer statischen Konzeption, die das Quellen unter Entwicklung von Quelldrücke bei entsprechender Querschnittsgeometrie und Ausbaudimensionierung verhindert oder weitgehend einschränkt, (Abb. 4) ist das Gebirge während der Baumaßnahme möglichst wasserfrei zu halten. Allerdings sind Wasserzutritte auf Dauer meist nicht zu verhindern, weshalb das Bauen frei von Quellerscheinungen langfristig kaum möglich ist.

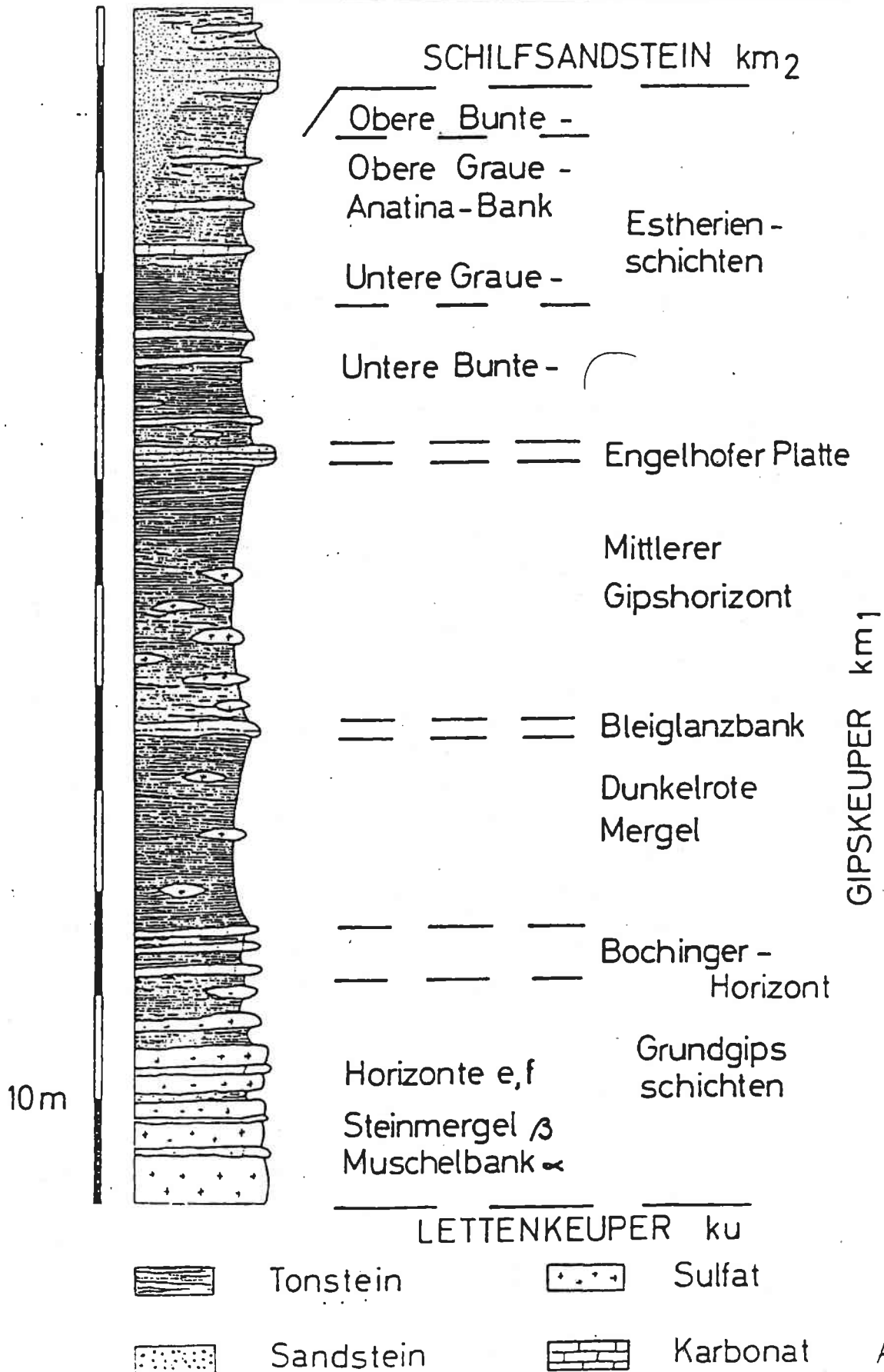
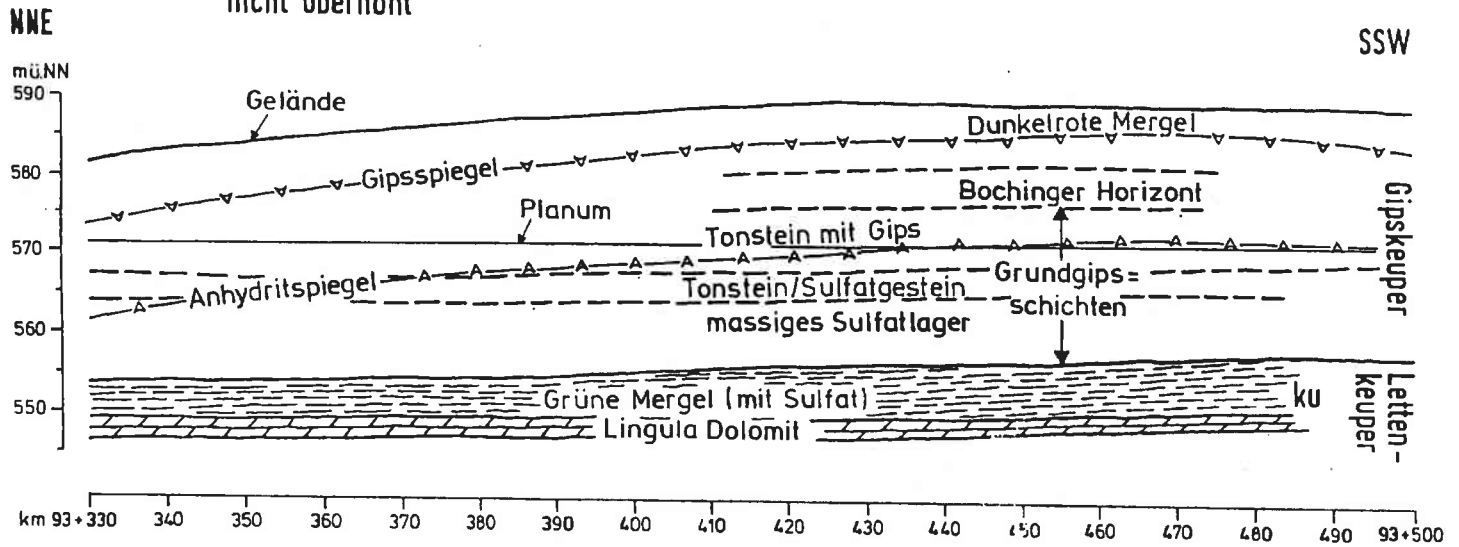


BILD 5: Rogowski, E.: Quellvorgänge im Gispkeuper, Blatt 2

**BAB A 81
 Stuttgart-Singen**

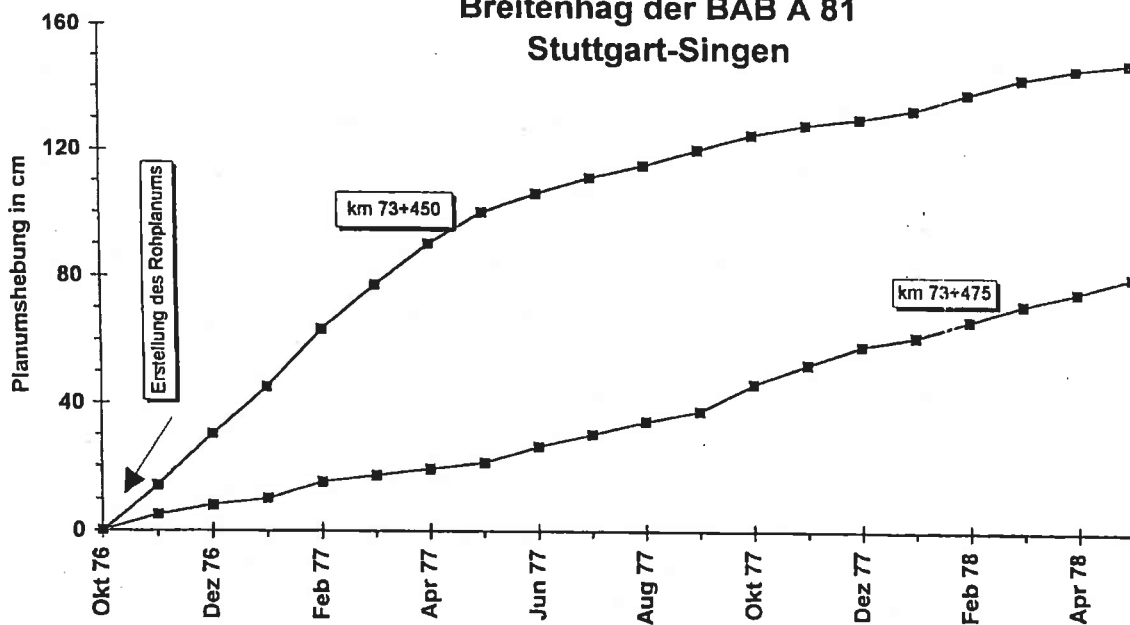
Längsprofil des Einschnitts "Breitenhag"
 nicht überhöht



nach Kleinert u. Einsele 1978

Abb. III. 2

**Hebungsverlauf im Einschnitt
 Breitenhag der BAB A 81
 Stuttgart-Singen**



nach Kleinert u.
 Einsele 1978

Abb. III. 3

BILD 6: Rogowski, E.: Quellvorgänge im Gispkeuper, Blatt 3

ANAGNOSTOU, GEORGIOS:

Design uncertainties in tunnelling through anhydritic swelling rocks (engl.)

(Planungsunsicherheiten beim Tunnelbau in anhydrithaltigem quellfähigem Gebirge)

Der Tunnelbau im Gipskeuper gehört heute noch, trotz der über hundertjährigen Tunnelbauaktivität in solchem Gebirge, zu den Ingenieuraufgaben, die mit großen inhärenten Unsicherheiten verknüpft sind. Beim anhydritführenden Gebirge sind weder die makroskopischen Gesetzmäßigkeiten des Quellvorgangs bekannt, noch die mikroskopischen Mechanismen hinreichend verstanden. Die experimentelle Forschung auf diesem Gebiet wird einerseits durch die kleinmaßstäbliche Heterogenität des Gebirges, andererseits durch die Dauer des Quellvorgangs, die selbst im Labor äußerst lang ist, erschwert.

Anders als bei reinen Tonsteinen erlaubt die Komplexität der zugrundeliegenden Prozesse (Anhydritlösung und Gipsausfällung, Transportprozesse, Wasseraufnahme durch die Tonmineralien) kaum zwingende Rückschlüsse über das makroskopische Verhalten, geschweige denn quantitative Aussagen über Größen, die in die Projektierung einfließen (Quelldehnung, Quelldruck oder deren Beziehung). Angesichts der in ein und demselben Tunnel oft beobachteten stark variablen Intensität des Quellvorgangs bieten Feldbeobachtungen und Erfahrungen aus ausgeführten Projekten mit scheinbar vergleichbaren geologischen Bedingungen ebenfalls keine genügend zuverlässige Entscheidungsbasis.

Die Wechselhaftigkeit des Gebirgsverhaltens ist vermutlich durch Unterschiede bezüglich der Wasserzirkulation bedingt. Beobachtungen weisen darauf hin, dass Singularitäten der Sickerströmung wie Schichtgrenzen oder Störungen für die Intensität des Quellvorgangs entscheidend sein können. Verlässliche Voraussagen über die zeitliche Entwicklung und die Größe des Quelldrucks und der Quellhebung sind in der Praxis nicht möglich, weil sich die maßgebenden Faktoren einer Erkundung und Quantifizierung entziehen.

Bei einer Unterschätzung der Geschwindigkeit des Quellvorgangs wird ein steifer Ausbau vorzeitig beschädigt oder unzulässige Hebungen erfahren. Die konzeptuelle Begründung des nachgiebigen Ausbaus liegt darin, dass die Hebung der Sohle erst dann das Tunnelgewölbe erfasst, wenn die Knautschzone gestaucht wird. Bei gleichen Bedingungen bezüglich Wasserzufuhr hat ein Tunnel mit nachgiebigem Ausbau eine längere Lebensdauer als ein Tunnel mit steifem Ausbau. Ob die mit einem nachgiebigen Ausbau erzielbare Verlängerung der Lebensdauer genügend ist oder nicht, hängt von der nicht prognostizierbaren Geschwindigkeit des Quellvorgangs ab. Die Quelle der Unsicherheit beim nachgiebigen Ausbau ist also die gleiche wie beim Widerstandsprinzip.

Schlagwörter zum Inhalt: Ingenieurtiefbau; Tunnelbau; Gebirge; Entwässerung; Ausbau; Tunnelausbau; Durchlässigkeit; Undurchlässigkeit; Spannung; Belastung; Wasserdruck; Porenwasserdruck; Tunnel(tiefliegend);.

in Fachzeitschrift: Felsbau, Rock and Soil Engineering 25(2007)Nr.4, S.48-54, Abb.,Lit.
ISSN: 0174-6979

BILD 7: Anagnostou,G.: Tunnelbau in quellfähigem Gebirge

Geologie von Baden-Württemberg:

<http://www.geologie.uni-stuttgart.de/edu/bwgeo/bwge01.htm>

Landschaftsgeschichte - Landesplanung

von Hermann Behmel
mit 21 Abbildungen

Institut für Geologie und Paläontologie
Universität Stuttgart
Herdweg 51, 70174 Stuttgart
Tel: ++49/711/21-1339 Fax: ++49/711/21-1341
Last changes 14. February 2000 by Steffen Kuterolf

Basierend auf dem Artikel "Landschaftsgeschichte - Landesplanung, erschienen in "Wechselwirkungen"- Jahrbuch 1990 der Universität Stuttgart (S. 13-20) (1991 publiziert).

INHALTSVERZEICHNIS

- Vorwort (von Reinhold Leinfelder)
- Teil 1: Landschaftsgeschichte - Landesplanung
- Teil 2: Die Anatomie von Baden-Württemberg - Entstehungsgeschichte als Schlüssel zum Verständnis für die Sensibilität der Landschaften (mit vielen Abbildungen)
- Teil 3: Karten zu Krustenbewegung, Geologie und Gewässernetz



abb. 1: Eiszapfen markieren Quellhorizonte.

Vorwort zur WWW-Version

Der 1991 im Jahrbuch der Universität Stuttgart erschienene Artikel von Hermann Behmel zur Komplexität des Untergrundsverhaltens bei der Landesplanung ist nach wie vor hochaktuell. Behmel weist anhand des Beispiels von Baden-Württemberg eindringlich auf die Wichtigkeit des Verständnisses der geologischen Entwicklung hin, bevor Baumaßnahmen wie Autobahntrassen, Mülldeponien oder Kernkraftwerke konzipiert werden. Die Beispiele machen klar, daß eine umfassende Beurteilung potentieller Standorte aus den vielfältigen geologischen Blickwinkeln unabdingbarer Teil einer verantwortungsbewußten Landesplanung sein muß.

Hermann Behmel beläßt es aber nicht nur bei diesen Beispielen, sondern fügt zum besseren Verständnis gleichzeitig einen stark vereinfachten Abriss der geologischen Entwicklung Baden-Württembergs in anschaulichen Bildern sowie Kartenskizzen zu Krustenbewegungen, Geologie sowie Grund- und Oberflächenwasserlandschaften als Beispiele für planerische Grundlagen hinzu.

Dieser Artikel stellt ein weiteres Beispiel dafür dar, wie wichtig Grundlagenforschung, also im konkreten Fall die Analyse der geologischen, paläontologischen und paläogeographischen Entwicklung von Baden-Württemberg auch für angewandte Aspekte ist. Wir wünschen viel Spaß beim Lesen!

Teil 1: Landschaftsgeschichte - Landesplanung

Ingenieure, Natur- und Geisteswissenschaftler stellen wechselseitig immer wieder einen Mangel an Allgemeinbildung fest. Alle zusammen wiederum trauen Politikern wenig Einsicht bei Entscheidungen zu, die fachlich begründet werden sollten.

Unter Stuttgarter Geologen kursiert folgende Anekdote: als die Universität Stuttgart noch die Technische Hochschule war, gab es im Rahmenprogramm einer internationalen Ingenieurtagung eine Exkursion zu dem weltbekannten Urweltmuseum Hauff in Holzmaden. Während die Präparation der Fossilien erläutert wurde, nahm der damalige Rektor einen Geologen beiseite und vergewisserte sich: diese Ichthyosaurier, das sind doch Bildhauerarbeiten, die stecken doch nicht im Stein.

Was haben Saurier mit der Landesplanung zu tun?

Gesteine sind nur unter den Bedingungen stabil, unter denen sie entstanden sind. Salz und Gips sind an der Erdoberfläche nur in ariden Klimaten beständig, bituminöse Tonsteine mit ihrem Gehalt an Pyrit werden unter sauerstoffarmen, reduzierenden Bedingungen in stagnierendem Wasser abgelagert. Kalk wird unter Mitwirkung von Organismen aus nahezu gesättigtem Meer- oder Süßwasser ausgeschieden. Alle diese Gesteine sind am Bau unserer Landschaft in Süddeutschland beteiligt.

Art und Erhaltungszustand von Fossilien geben Auskunft über Alter, Bildungsbedingungen und Eigenschaften von Gesteinen. Sie bilden Mosaiksteine der Kenntnis über Entstehungsgeschichte und Bau der Landschaft. Gut erhaltene Fossilien zeigen, daß seit ihrer "Beerdigung" nicht mehr viel mit ihnen passiert sein kann. Im Falle der Saurier sind dies 180 Millionen Jahre.

Eingriffe = Vorkriffe

Die endogenen Bewegungen, Hebung von Krustenteilen und tektonische Zerschneidungen, schieben dem exogenen Angriff von Verwitterung und Abtragung ständig frisches Gestein entgegen. Oberirdisch sichtbar sind Rutschungen, Bergstürze, Bodenerosion in Weinbergen und Äckern. Unterirdisch greift die Auflösung von Kalkstein, Gips und Salz in den Bau der Landschaft ein. Geologisch gesehen ist das gegenwärtige Bild unseres Landes nur eine Momentaufnahme. Wird der natürlichen Abtragung vorgegriffen, durch Steinbrüche, Baugruben, Tunneln, Einschnitte, so muß sich freigelegtes frisches Gestein im Zeitraster umwandeln oder auflösen.

Beulen und Höhlen - drei Beispiele für vergessene Erfahrungen

Unter dem Gebäude Pfaffenwaldring 55 der Universität Stuttgart kommt es zu dezimeterhohen welligen Baugrundhebungen, die sich bis in die obersten Stockwerke zerstörerisch auswirken. Bituminöse Tonsteine mit einem hohen Gehalt von fein verteiltem Pyrit verwittern unter Zutritt kalkhaltiger sauerstoffreicher Grundwässer, es kommt zur Auskristallisation von Gips. Die Saurier von Holzmaden werden in analogen Gesteinen gefunden, aus dem Alvorland sind solche Effekte seit langer Zeit bekannt.

Die Autobahn Stuttgart-Singen führt bei Oberndorf durch tiefe Einschnitte. Seit der Eröffnung im Jahre 1978 kommt es dort laufend buckelpistenartig zu Baugrundhebungen, die bisher insgesamt mehr als 4 m betragen. Anhydrit und wasserfreie Tonminerale nehmen dort Wasser auf und quellen bei Drücken bis zu 100 MN/m² bzw. 1000 bar mit 60% Volumenzunahme. Derartige Effekte hätten seit dem Bau von Eisenbahntunneln in Baden-Württemberg vor 140 Jahren und aus dem Wagenburgtunnel in Stuttgart bekannt sein müssen.

Unter dem Kühlturm des Kernkraftwerks Neckarwestheim II wurden an zugänglicher Stelle Absenkungsbeträge von 14 cm gemessen und bei Bohrungen metertiefe Hohlräume angetroffen. Die horizontale Erstreckung der Hohlräume ist nicht bekannt. Das Kernkraftwerk Neckarwestheim steht 6-8 m unter dem Niveau des nahe vorbeifließenden Neckars in einem ehemaligen Steinbruchgelände. Es ist auf tektonisch intensiv zerrüttetem Muschelkalk-Fels gebaut, unter dem mächtige korrodierte Gipschichten und tektonisch aufgepreßter noch frischer Anhydrit liegen. Pro Sekunde müssen 120 bis 170 Liter Grundwasser abgepumpt werden, da mit der Standort nicht zum See wird und Bauteile nicht unter Auftriebskräfte geraten. Dabei werden pro Jahr 700 bis 1000 Kubikmeter Gips direkt unter dem Standortbereich aufgelöst.

Erfahrungsgemäß greift die Subrosion bevorzugt in den tektonischen Zerrüttungszonen an, es kommt zur Ausbildung von Höhlen. Die intensivsten Zerrüttungszonen verlaufen zwischen Maschinenhaus und Notspeisegebäude einerseits und dem Reaktorgebäude andererseits. Es ist seit langem bekannt, daß besonders entlang von Neckar, Enz und Main in jüngster geologischer Vergangenheit vergleichbare Hohlräume in analogen Schichten immer wieder eingebrochen sind.

Vier Landschaftsteile

Der geologische Bau und das davon bestimmte Relief haben in Baden Württemberg vier große Landschaftseinheiten entstehen lassen: den Oberrheingraben mit der Vorbergzone, den Grundgebirgsschwarzwald, das fächerförmig gespreizte Schichtstufenland und das Alpenvorland.

Schollenmosaik

Der Druck der afrikanischen Krustenplatte zerscherte die europäische Platte in ein Schollenmosaik. Zahlreiche Brüche und tektonische Gräben verlaufen von Nordwest nach Südosten. Die Bonndorfer Zone, der Freudenstädter Graben, der Hohenzollerngraben, die Sindelfinger Brüche und der Fildergraben sind Beispiele dafür. Diese Richtung ist für die zerschützte Kante der Schichtstufen verantwortlich.

Das bedeutendste tektonische Element ist jedoch der Rheingraben. Im Scheitel der ostfranzösisch-süddeutschen Aufwölbung ist er auf 300 km Länge, 35 km Breite über 4000 m tief eingebrochen. Gleichzeitig fanden und finden immer noch horizontale Verschiebungen statt. Die Vogesen werden nach Süden, der Schwarzwald nach Norden gerückt.

Zusätzlich zu den scharf erkennbaren tektonischen Trennflächen prägen weit gespannte Auf- und Abwölbungen die Südwestdeutsche Krustenscholle: die Kraichgaumulde zwischen Schwarzwald und Odenwald, die Stromberg-Löwensteiner Mulde, der Schwäbisch-Fränkische Sattel und andere.

abb.18. Das Streifefeld Südwestdeutschlands

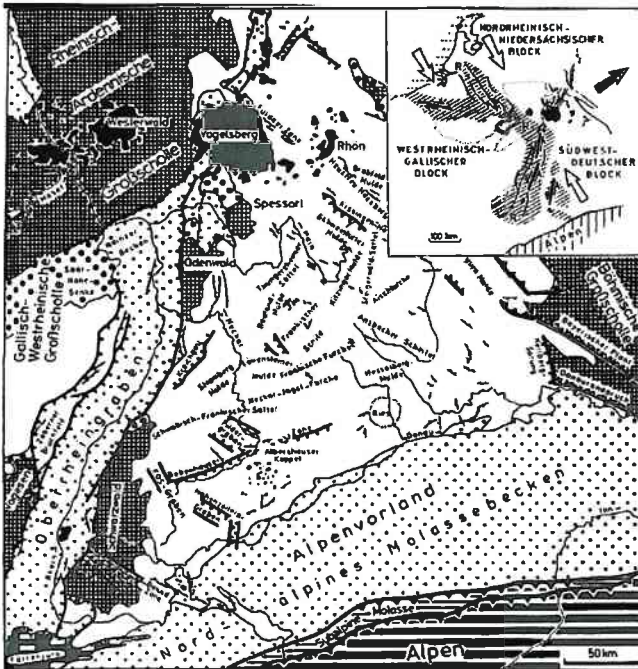
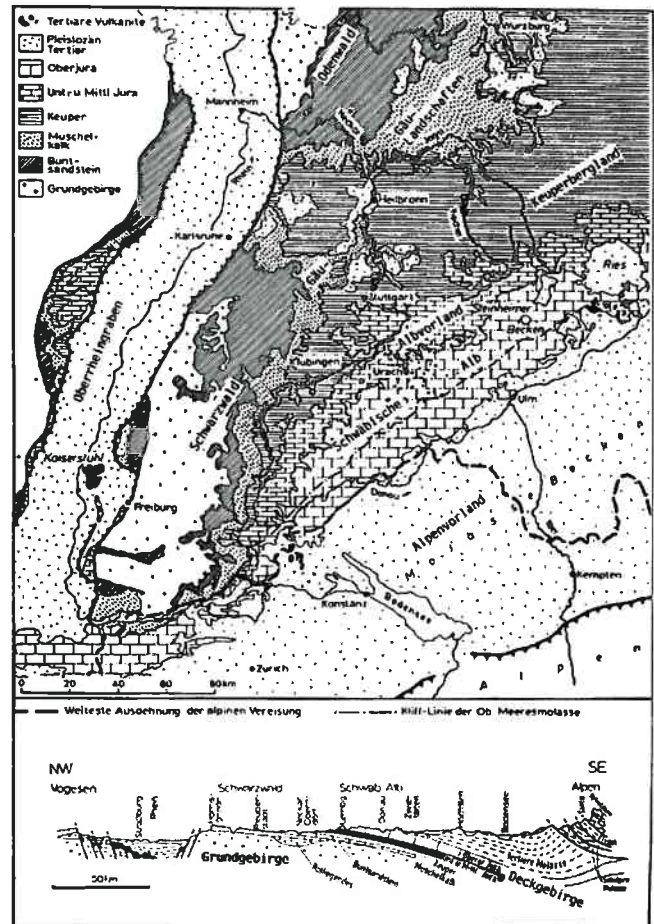


abb.19. Geologische Karte Baden-Württembergs



Aktuelle Bewegung

Seit Beginn der Tertiärzeit dauert das Absinken des Schollenmosaiks im Rheingraben an. In der Vorbergzone sind einige Randschollen über dem Schutt aus späteren Zeiten noch zu erkennen. Gleichzeitig heben sich die Grabenschultern. So entstanden Schwarzwald, Odenwald und Vogesen. Man spricht von Hoch- und Tiefschollen. Parallel zum Rheingraben erstrecken sich weitere Störungs- und Grabenzonen, z.B. der Pfingstgraben bei Pforzheim und Störungszone bei Neckarwestheim.

Die Größenordnung der aktuellen horizontalen Bewegungskomponenten wird mit 1 mm/Jahr am Rande des Rheingrabens angenommen, mit ruckartigen Verschiebungen bis zu einigen cm muß stets gerechnet werden. Die vertikalen Differentialbewegungen liegen in der Größenordnung von mm/Jahrzehnt.

Gewässernetz

Vor dem Einbruch des Rheingrabens wurde unser Gebiet nach Südosten zum Alpenvorland, zur Donau hin entwässert. Die Aare war zu dieser Zeit noch ein Quellfluß der Donau.

Nach dem Einbruch des Grabens stellte sich das Netz der Flüsse auf die neue Basis hin, zahlreiche Nebenflüsse der Donau wurden zum Rhein und zum Neckar umgelenkt.

Die Zubringer von Kocher und Jagst, ursprünglich Quellflüsse der Brenz, zeigen diese aktuelle Umorientierung ihrer fraktalen Hierarchie besonders deutlich.

Der Abtragungsschutt von Schwarzwald, Odenwald, Vogesen, Pfälzer Wald und aus den Alpen füllt den Graben zusammen mit marinen Schichten. Stellenweise wurden insgesamt mehr als 3000 m Sedimente abgelagert.

INSTANDESETZUNG ADLERTUNNEL

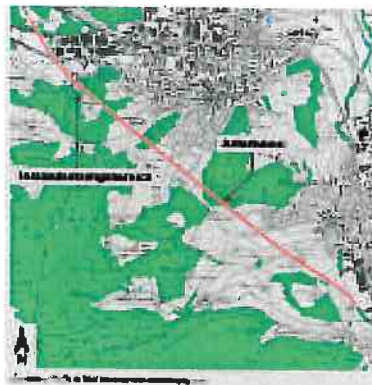
Der Adlertunnel der SBB ist ein einröhriger, ca. 5,3 km langer Doppelspurtunnel als direkte Verbindung zwischen Liestal und Pratteln auf der Linie Basel–Olten (Bild 1). Der im Gebiet des Tafeljuras 1996–1999 bergmännisch mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) erstellte Tunnel weist einen kreisförmigen Querschnitt mit bewehrtem Tübbingausbau, Innengewölbe und dazwischen angeordneter Abdichtung auf (Bild 2).

Seit der Fertigstellung sind in einem ca. 40 m langen, rund 1000 m vom Nordportal bei Pratteln entfernten Tunnelabschnitt Deformationen («Quetschung» und Hebung des Tunnelquerschnitts) als Folge des Quelldrucks des Gebirges aufgetreten. Das unbewehrte Innengewölbe ist durch Risse stark geschädigt und musste als Sofortmassnahme mit Stahlsegmentbögen gesichert werden, um die Gebrauchstauglichkeit weiterhin gewährleisten zu können (Bild 3).

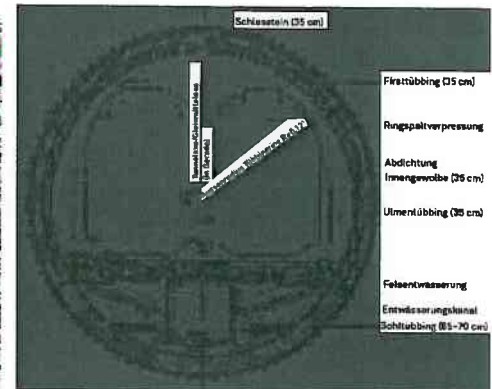
Im Bereich der Schadenzone durchfährt der Tunnel mit einer Überlagerung von 34 m bis 44 m Karststrukturen mit Bunten Mergeln und Gipskeuper (Anhydrit). In diesem Abschnitt ereignete sich während der Bauausführung ein Niederbruch vor der TBM, der sich zu einem Tagbruch ausweitete und den Vortrieb stoppte (Bild 4). Die geologisch kritische Zone konnte erst nach dem Bau eines Umgehungsstollens und Zementinjektionen von der Oberfläche aus mit der TBM durchfahren werden. Durch diese Ereignisse und Massnahmen gelangte aber Wasser zum in der Tunnelsohle anstehenden Anhydrit, was zum bekannten Quellen führte. Zudem wurde die Bettung des Gewölbes im Firstbereich durch den Verbruch geschwächt.

Die SBB planen nun, den ca. 40 m langen schadhafte Tunnelabschnitt umfassend instanzzusetzen, damit seine Nutzungsdauer wieder jener des Gesamtwerks entspricht. Zur Erlangung von Projektvorschlägen für die Instandsetzung des Streckenabschnitts Tunnelmeter 960 bis 1000 führte die SBB AG, Infrastruktur, einen selektiven Projektwettbewerb durch.

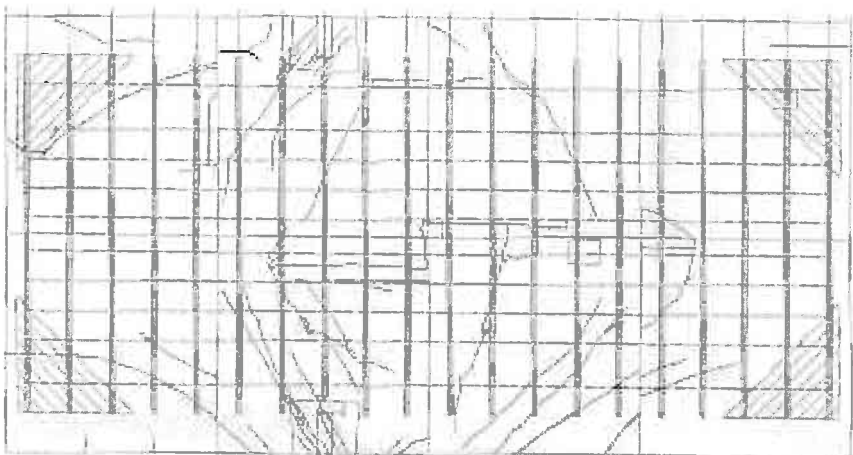
Das Verfahren wurde nach Art. 15 BoeB und nach Art 42 Abs. 1 lit.b VoeB durchgeführt. Aufgrund der öffentlichen Ausschreibung haben insgesamt zwölf Planerteams (Ingenieurgemeinschaften und Einzelfirmen) eine Bewerbung eingereicht. Daraus wurden nach einer nicht anonymen Präqualifikation



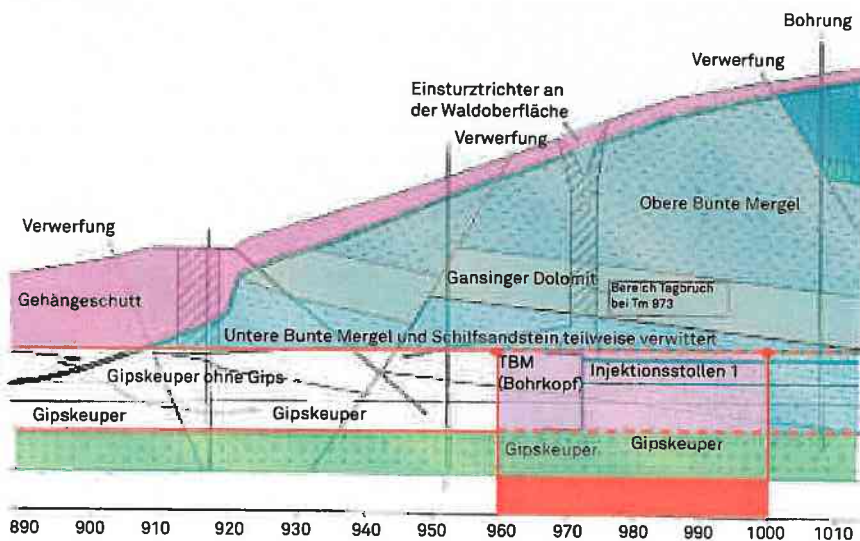
01 Situation Adlertunnel (Bilder SBB Infrastruktur Projekt Management)



02 Tunnelquerschnitt (Profiltyp I für «quellfähiges Gestein»)

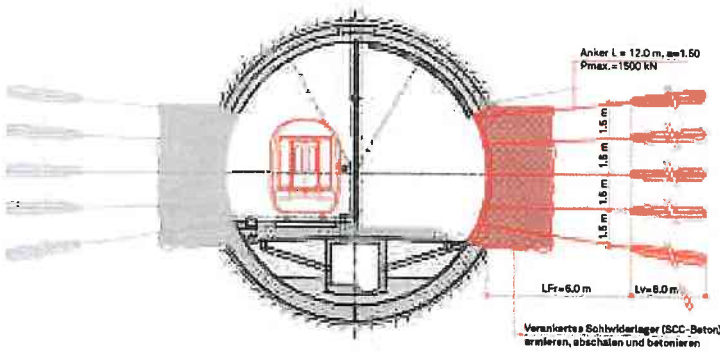


03 Tunnelgewölbe in der Schadenzone: Rissbild der Innenschale im Scheitelbereich und Lage der Stahlsegmentbögen

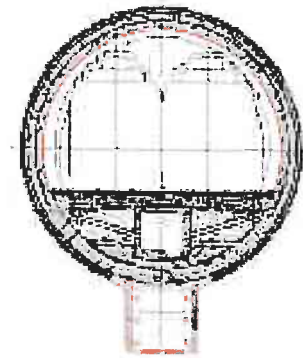


04 Geologisches Längenprofil im Bereich des Tagbruchs bzw. des instanzzusetzenden Abschnitts

BILD 10: Tunnel im Gipskeuper: Beispiel Adlertunnel (CH), Blatt 1



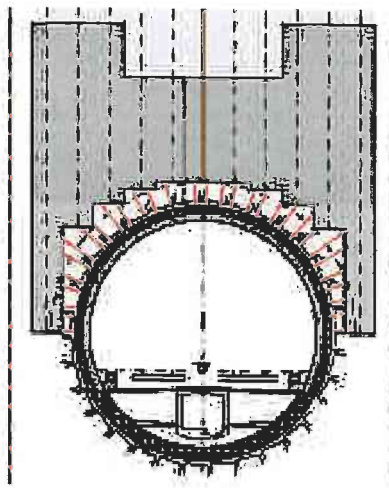
05 Tunnelquerschnitt des Projekts «AQUILA» mit verankerten Sohlwiderlagern im Bereich der Ulmen
 (1 Preis Basler&Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich)



06 Tunnelquerschnitt des Projekts «EAGLE ONE» mit Entlastungsstollen und tangentialen Entlastungsbohrungen unter der Tunnelsohle
 (2 Preis IG Lombardi/Henauer Gugler, Luzern)



07 Tunnelabschnitt des Projekts «MAULWURF» mit der aus 11 Querstollen bestehenden Knautschzone unter dem Tunnel; Längsstollen und Zugangsschacht (3 Preis IG AEGP, Regensburg)



08 Tunnelquerschnitt des Projekts «Condor» mit Verdichtungsinjektionen über der Kalotte
 (IG GeoAdler, Bern)

fünf Bewerber zur Teilnahme am anonymen Projektwettbewerb zugelassen. Jede Wettbewerbsarbeit wird mit einem Betrag von 70 000 Fr. entschädigt.

«AQUILA»

Die Verfasser des Siegerprojekts, Basler & Hofmann AG, Zürich, wählen analog dem ganzen Adiertunnel eine reine Widerstandslösung, die möglichst wenig (und vor allem nicht unter dem Tunnel) ins Gebirge eingreift. Damit sollen der vorhandene Spannungszustand möglichst nicht verändert und keine zusätzlichen Quellungen verursacht werden. Beidseits des Tunnels werden das bestehende Innengewölbe und die Tübbinge im Bereich der Ulmen abgebrochen und durch

einen massiven bewehrten Betonriegel ersetzt (als verankertes Sohlwiderlager VSW oder Paramentbalken bezeichnet, Bild 5). Die Riegel sind durch eine grosse Anzahl horizontaler vorgespannter Felsanker rückverankert. Damit wird der Quelldruck aus der Tunnelsohle über die Sohlwiderlager in den anstehenden Fels abgetragen. Das Scheitelgewölbe, dessen gerissene Innenschale ersetzt wird, stützt sich auf die VSW ab und wird nur noch von einem «Auflockerungsdruck» beansprucht. Das Tragwerkskonzept sieht eine Entkoppelung von Sohl- und Scheitelgewölbe und eine Stabilisierung des Tunnelgewölbes durch die Paramentbalken vor. Die statisch klare und solide Lösung mit sauberer Krafteinleitung mobilisiert einen

genügenden Widerstand gegen Hebung der gesamten Tunnelröhre. Die Chancen, den Schadenfall mit dieser Einmal-Sanierungsmassnahme definitiv beheben zu können, werden vom Preisgericht als hoch erachtet. Vorteilhaft wird auch beurteilt, dass für die Ausführung bewährte Baumethoden und erprobte Bautechniken angewendet werden.

«EAGLE ONE»

Mit der Erstellung eines Hohlraums unter dem Tunnel streben die Verfasser des zweitplatzierten Projekts, die IG Lombardi/Henauer Gugler, Luzern, eine Entlastung des Gewölbes an. Damit wird der Quelldruck unter den Sohl-tübbingen reduziert, und die Quellhebungen werden abgefangen. Der Hohlraum besteht aus einem direkt unter dem Tunnel erstellten Entlastungsstollen sowie tangential unter dem Sohlgewölbe verlaufenden Kern- oder Entlastungsbohrungen (Bild 6). Der Fels neben dem Stollen und die Sohl-tübbinge werden so verstärkt, dass der Tunnel seitlich neben dem Entlastungsstollen aufgelagert werden kann. Die Stollenwände sind mit bewehrtem Spritzbeton und vorgespannten Freispielankern mit deformierbaren Ankerköpfen (Knautschmaterial) gesichert. Die Sohle des Stollens bleibt offen. Wände und Sohle des Stollens sind nachgiebig konzipiert und müssen von Zeit zu Zeit nachgearbeitet werden. Diese Folgemassnahmen sind Teil des Konzepts. Die Projektidee besteht darin, mit einem kleinen und kostengünstigen bautechnischen Eingriff einen quelldruckfreien Sohlbereich zu schaffen. Als vorteilhaft wird auch erachtet, dass die Baumassnahme jederzeit ohne Beeinträchtigung des Bahnbetriebs nachgebessert und erweitert werden kann.

WETTBEWERBE

«MAULWURF»

Beim drittplatzierten Projekt der IG AEGP, Regensdorf, soll unter dem Tunnel eine mächtige, mit hochdeformierbaren Leichtbetonblöcken gefüllte Knautschzone eingebaut werden, um weitere Hebungen in der Schadenzone zu verhindern.

Die Knautschzone mit einer Grundrissfläche von 43x14m besteht aus elf direkt unter dem Tunnel aufgefahrenen Querstollen (Bild 7). Diese werden unten mit Knautschmaterial (ca. 3m) und darüber mit Spritzbeton gefüllt («Lastverteilungsplatte»). Die Kraftschlüssigkeit zur Tunnelröhre wird mit im Zwischenhorizont eingebauten Injektionskissen erreicht. Die Knautschzone wird mit einem Stollensystem, das nach Bauschluss vollständig verfüllt wird, komplett von der Erdoberfläche aus erstellt.

«CONDOR»

Die Projektidee wird als grosszügige und technisch funktionsfähige Lösung beurteilt, die aber auch einen grossen Eingriff in den Fels und den Wasserhaushalt im umliegenden Gebirge darstellt. Das vorgesehene Knautschmaterial muss noch fertig entwickelt und geprüft werden, wobei insbesondere sein Langzeitverhalten gegenüber dem aggressiven Bergwasser nicht bekannt ist. Die Verfasser des Projekts «Condor», die IG GeoAdler, Bern, sehen die Hauptursache für die heutigen Schäden in einer schlechten Scheitelbettung der Tunnelröhre. Diese wird durch eine grossräumige Bodenverbesserung mit Verdichtungsinjektionen und Jet-

Grouting behoben, die von der Oberfläche aus vorgenommen werden sollen (Bild 8). Aufgrund der geringen Tieflage der Tunnelröhre wird von begrenzten Quelldrücken ausgegangen, sodass nur beschränkte Verstärkungsmassnahmen an der Innenschale vorgesehen sind. Es werden Kohlenstofflamellen als Zugbewehrung aufgeklebt und mit einer Spritzbeton-Dünnschale geschützt. Die Erfolgchancen der Verbesserung eines bereits durch Ereignisse und Massnahmen vorbelasteten Bodens werden als ungewiss und mit Nebenauswirkungen behaftet beurteilt. Auch bezüglich des Sanierungskonzepts für die Innenschale brachte das Preisgericht Vorbehalte an.

«VARIANTE 1»

Eine radikale Lösung wird von Rothpletz, Lienhard+Cie AG, Olten, in ihrem Projekt vorgeschlagen: Mit zwei Trennfugen (Radialschnitten) wird das am stärksten beschädigte Teilstück der Tunnelröhre vom Rest des Tunnels abgetrennt (Bild 9). Dieses Teilstück soll in Zukunft weiteren Quellhebungen möglichst ungehindert folgen, wobei unterschiedliche Hebungen im Oberbau durch periodisches Tieferlegen der Gleise zu kompensieren sind. Dazu ist durch Herabsetzen des Entwässerungskanals ein ausreichender Spielraum im Schotter unter dem Gleiskörper zu schaffen.

Durch einen kleinen bautechnischen Eingriff wird das am stärksten beanspruchte Teilstück vom übrigen Tunnel entkoppelt. Das Verhalten des herausgetrennten Teilstücks

kann während der weiteren Nutzung problematisch sein (Kippen, Verdrehen, Anheben) und zu einer Verschiebung der Fahrbahn führen, sodass der Gleiskörper in kurzen Abständen nachgerichtet werden muss. Auch bezüglich Ringfugenabdichtung und Entwässerung des abgetrennten Abschnitts bestehen Vorbehalte des Preisgerichts.

Das Preisgericht würdigt abschliessend das grosse Engagement aller Wettbewerbsteilnehmer. Die Vielfalt an einfallsreichen und zum Teil unkonventionellen Lösungen hat den ein hohes Niveau aufweisenden Wettbewerb stark bereichert.

Aldo Rota, rota@tec21.ch

PREISE

1. Rang / 1. Preis (40 000 Fr.): Empfehlung zur Auftragserteilung für Projektierung und Bauleitung: Projekt «AQUILA»; Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Zürich
2. Rang / 2. Preis (20 000 Fr.): Projekt «EAGLE ONE»; IG Lombardi/Henauer Gugler, Luzern; Lombardi AG, Beratende Ingenieure, Luzern; Henauer Gugler AG, Ingenieure und Planer, Zürich
3. Rang / 3. Preis (10 000 Fr.): Projekt «MAULWURF»; IG AEGP, Regensdorf; Amberg Engineering AG, Regensdorf-Wett; Gähler+Partner AG, Integrierte Bauplanung, Ennetbaden
4. Rang / 4. Preis (5 000 Fr.): Projekt «Condor»; IG GeoAdler, Bern; B+S Ingenieure AG, Bern; Müller+Hereth GmbH, Freilassing (D)
5. Rang / 5. Preis (5 000 Fr.): Projekt «Variante 1»; Rothpletz, Lienhard+Cie AG, Olten

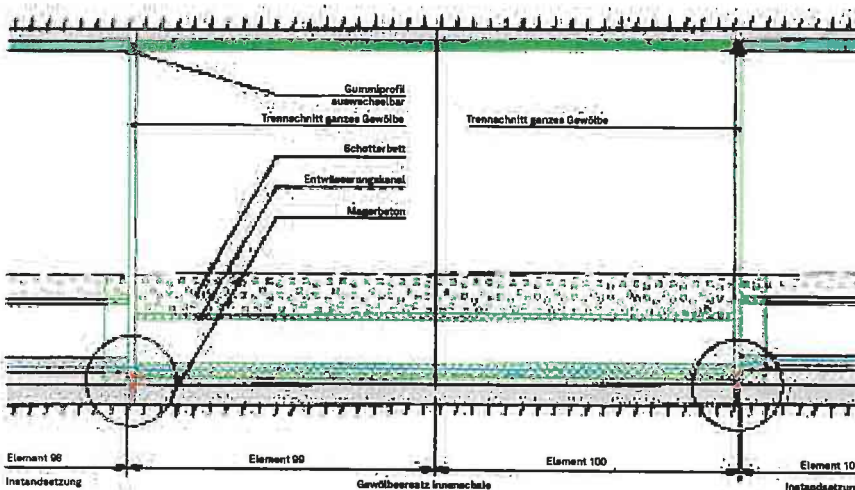
PREISGERICHT

Fachpreisrichter mit Stimmrecht: Prof. Dr. Georg Anagnostou, Institut für Geotechnik, ETH Zürich; Prof. Dr. Edwin Fecker, Prof. Fecker und Partner GmbH, Ettlingen; Willy Ritz, Bauingenieur, Kastanienbaum Luzern; Daniel Wyder, Bauingenieur, SBB Anlagenmanagement, Bern; Jan Dirk Chabot, Bauingenieur, SBB Produkte und Systeme, Bern

Sechpreisrichter mit Stimmrecht: Peter Jedelhauser, SBB Projekt Management, Bern (Jurypräsident); Reto von Salis, SBB Projekt Management, Olten

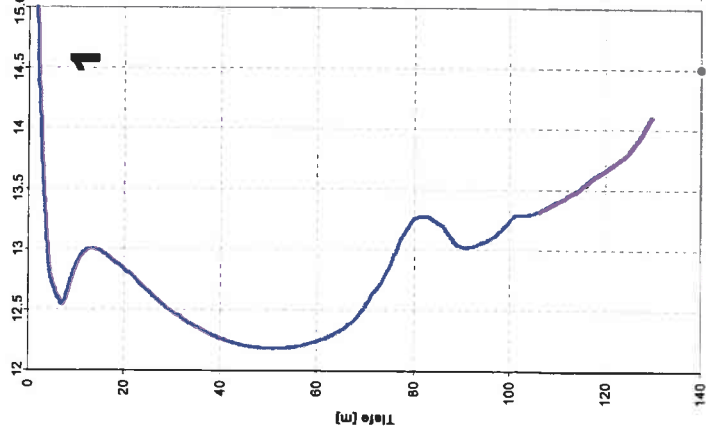
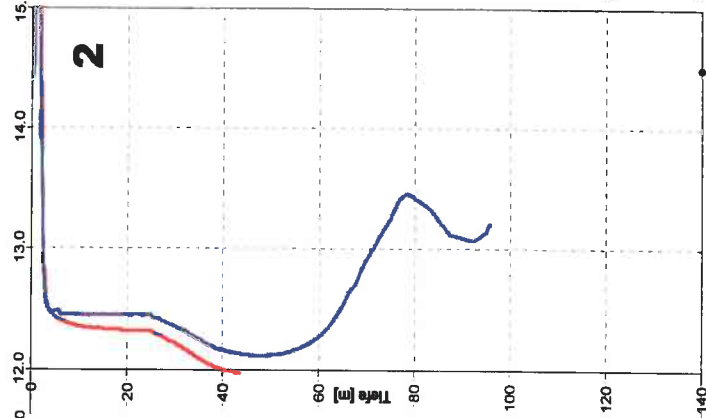
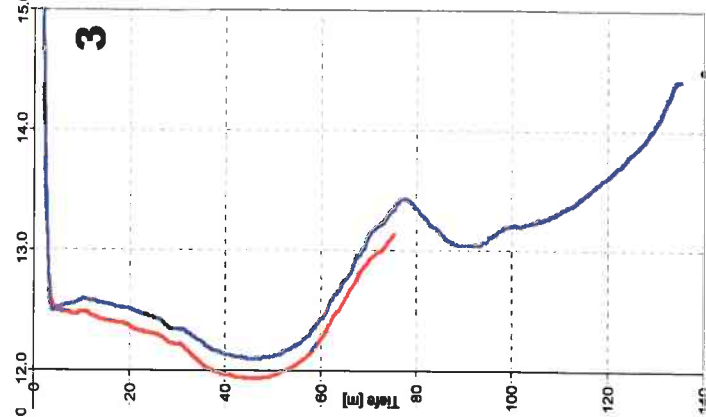
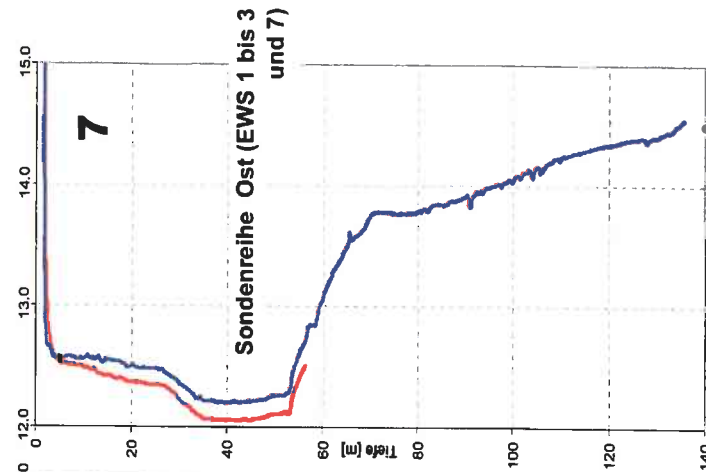
Ersatzpreisrichter: Erwin Bausch, Bauingenieur, Ennetbaden; Werner Dähler, SBB Projekt Management, Olten

Sachverständige ohne Stimmrecht: Markus Sägesser, SBB Projekt Management, Olten (Projektleiter); René Gassmann, SBB Rechtsdienst, Zürich
 Vorprüfung: F. Preisig AG, Glattbrugg / Baden / Wettingen; SBB AG, Infrastruktur
 Wettbewerbssekretariat: F. Preisig AG, Bauingenieure und Planer, Glattbrugg / Baden / Wettingen; Werner Galli, Bauingenieur, Glattbrugg; Dr. Martin Gysel, Bauingenieur, Baden; Kurt Allenbach, Bauingenieur, Wettingen; Marco Galli, Bauingenieur, Glattbrugg

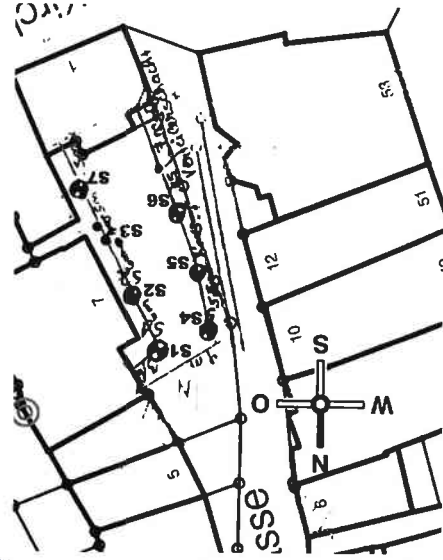


09 Tunnellängsschnitt/Prinzipskizze mit den Hauptelementen (Trennfugen, Ringfugendichtungen) des Projekts «Variante 1» (Rothpletz, Lienhard+Cie AG, Olten)

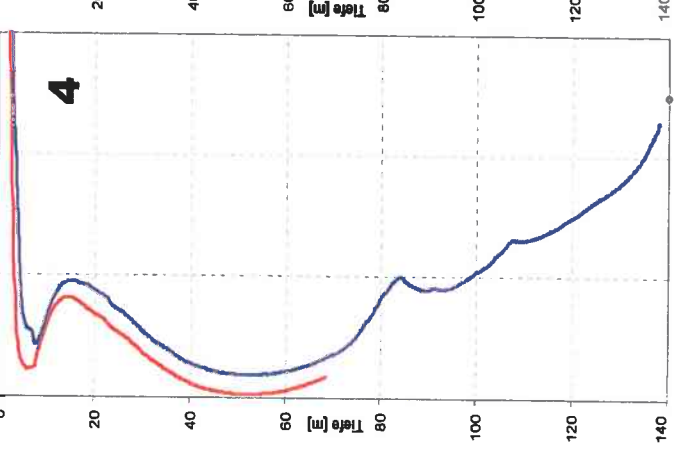
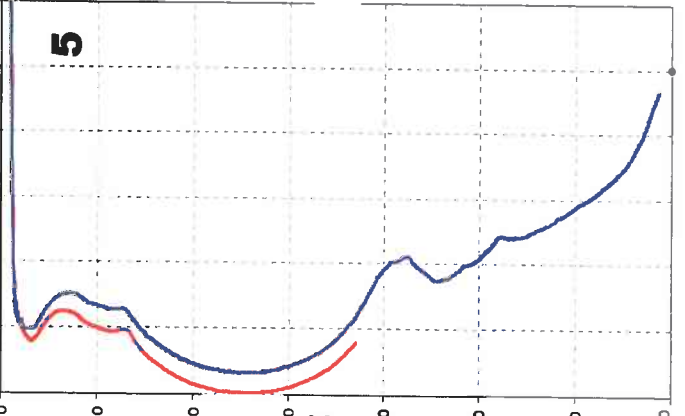
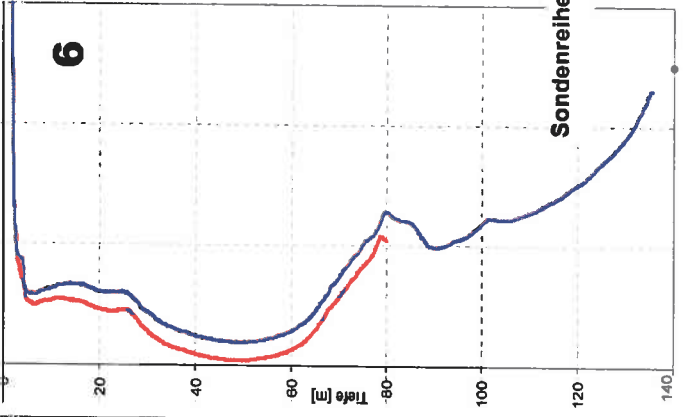
BILD 12: Tunnel im Gipskeuper: Beispiel Adlertunnel (CH), Blatt 3



Sondereihe Ost (EWS 1 bis 3 und 7)



Lageplan M 1:500



Sondereihe West (EWS 4 bis 6)

BILD 13: Ergebnisse der Temperaturmessungen in den Sonden