

# Tagbaustrecke Nord, ein Tunnel auf Pressen: wenn der Boden unter dem Bauwerk versinkt

Autor(en): **Wecke, Jürgen / Kalak, Josef / Schäuble, Daniel Alfred**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 49/50: **Adlertunnel**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-80015>

## **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.

**BAUHERR**

Schweizerische Bundesbahnen (SBB) AG, I-GP-NBS, Infrastruktur-Grossprojekte-Neubaustrecken

**PROJEKT- UND BAULEITUNG**

Aegerter & Bosshardt AG, Basel

**GEOLOGIE/GEOTECHNIK**

Prof. Dr. Hauber, Basel

Geotechnisches Institut AG, Basel

**UNTERNEHMUNGEN**

Hebetec Europa AG, Hindelbank

Marti AG, Spezialtiefbau, Zürich

**LIEFERANT**

Georoc AG, Zürich

# Tagbaustrecke Nord, ein Tunnel auf Pressen

Wenn der Boden unter dem Bauwerk versinkt

**Im Gebiet Lachmatt im Bereich der Tagbaustrecke Nord ist ein für diese Gegend neues geologisches Phänomen festgestellt worden. Die Subrosion von Salzgestein in rund 150 m Tiefe führt zur Setzung des gesamten überlagernden Gesteins und des im Niederterrassenschotter – der obersten Schicht – fundierten Tagbautunnels (Bild 1). Die wenigen Sondierbohrungen, aufgrund derer dieser Mechanismus lokal erkannt wurde, genügten nicht, dessen grossräumigen Zusammenhänge zu ergründen. Dies wird in den nächsten Jahren die Aufgabe einer Expertenkommission unter der Leitung des Kantons Basellandschaft mit Beteiligung der SBB AG sein.**

Für die Tagbaustrecke Nord des Adlertunnels mussten bautechnische Lösungen gefunden werden, mit denen den fortschreitenden Setzungen begegnet werden konnte, die im Zentrum der Setzungsmulde zeitweilig über ein Zentimeter pro Monat betragen (Bild 2). Ein im Rahmen eines Vorprojektes durchgeführtes Variantenstudium hat nachfolgende Lösungsmöglichkeiten untersucht. Dazu sind jeweils die Kriterien dargestellt, die zu deren Ausschluss respektive zur Wahl der realisierten Lösung geführt haben. All die untersuchten

Lösungen waren nur möglich, weil der Tunnel von vornherein für ein gewisses Mass an Setzungen konstruiert wurde. Als durchgehend bewehrte Röhre besitzt er die Duktilität und das Verformungsvermögen, welche ihm ermöglichen Setzungen bis zu 25 cm mitzumachen.

**Varianten den Setzungen zu begegnen**

Injektionen in das Dach des Salzlagers in 150 m Tiefe zum Stoppen der Subrosion:

- Technische Risiken wie fehlende Erfahrung mit Injektionen in grosser Tiefe

- Mangelnde Kenntnisse der Mechanismen, Gefahr der Provokation einer Verlagerung des Problems

- Hohe Kosten, finanzielle Risiken

Anheben des Tunnels durch Injektionen in rund 40 m Tiefe:

- Wiederholbarkeit unsicher

- Hohe Kosten

Verstärkung des Tunnels, Effekt wie tragende Brücke:

- Lösung versagt bei Verschiebung der Setzungsmulde

Freilegen und Aufschneiden der Tunnelröhre, Änderung Streckenabschnitt in offenes Trasse:

- Beeinträchtigung des Bahnbetriebes durch häufigen Unterhalt, reduzierte Verfügbarkeit der Bahnstrecke

- Lärmschutz

- allmähliche Zerstörung des im Sohlgewölbe liegenden Servicekanals

Anheben des Tunnels mit Pressen:

- Technisch sichere Lösung

- Bahnbetrieb weitgehend unbeeinträchtigt

- Flexibel wiederholbar

- Vergleichsweise günstige Kosten

1

Graphik geologischer Schnitt

2

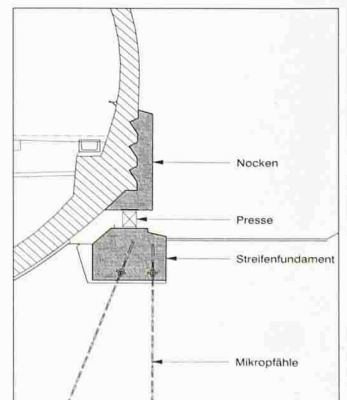
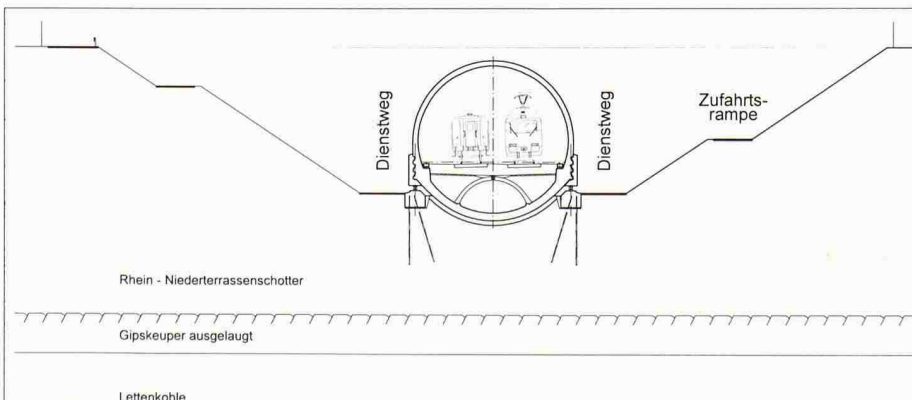
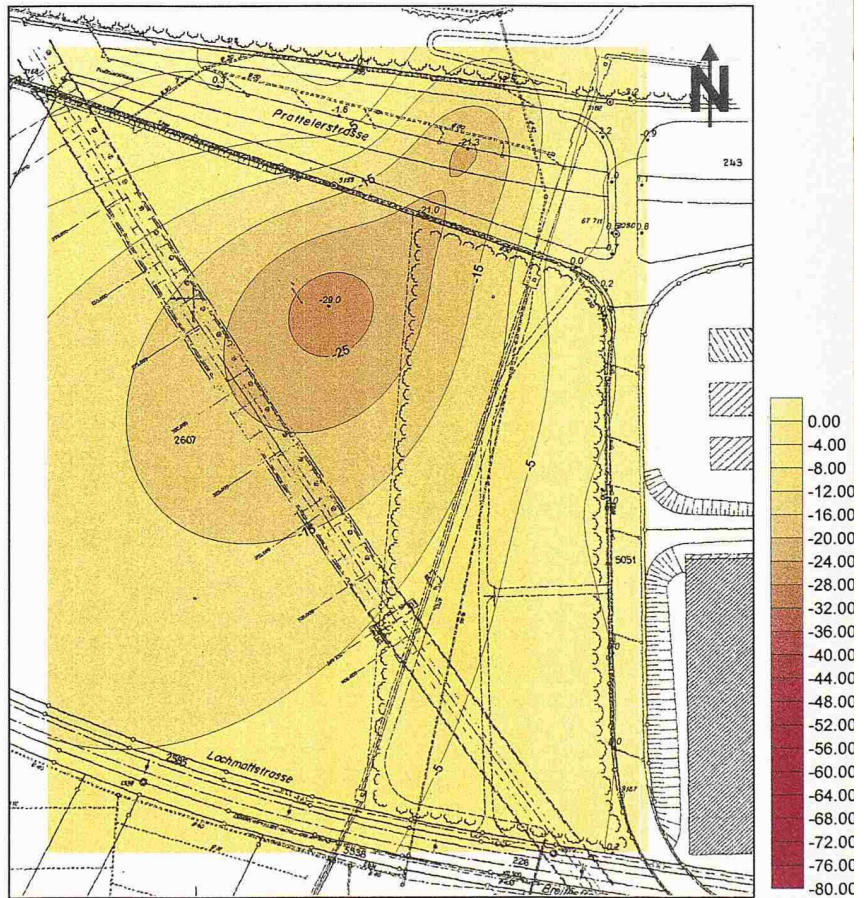
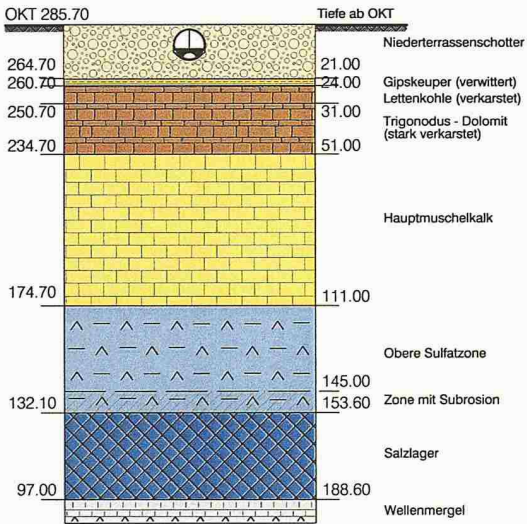
Setzungsmulde bei der Lachmatt (Setzungen in mm)

3

Skizze Hebegrube (unten)

4

Skizze Nocken mit Steifenfundament (unten)



### **Umsetzung einer unkonventionellen Lösung**

Im Bereich der Setzungsmulde wurde der Tagbautunnel nicht vollends verfüllt oder sogar wieder freigelegt. So wurde unnötiger Ballast für die Tunnelanhebungen entfernt. Die Tunneleranhebung sowie Wiederholanhebungen können nun in einer sogenannten Hebe-grube durchgeführt werden (Bild 3).

Die Tunnelanhebung erfolgt mittels hydraulischer Pressen. Zu deren Lagerung ist beidseits des Tunnels eine kombinierte Fundation aus Streifenfundamenten mit Mikropfählen zur Verhinderung eines Grundbruches erstellt worden. Als Ansatzpunkte der Pressen am Tunnelprofil sind an den Ulmenwänden des Tagbautunnels sogenannte Krafteinleitungsnocken anbetoniert worden. Durch das Herausjetten von Rippen wurde ein Verbund und eine Verzahnung der Nocken mit den Ulmenwänden erreicht. Zusammen mit der Disposition der Pressen unter den Tunnelwänden erfolgt die Einleitung der Pressenkräfte in das Tunnelprofil hauptsächlich auf Druck (Bild 4).

### **System Tunnelanhebung**

Für das Anheben und Ausrichten des Tunnels werden insgesamt 92 Hydraulikpressen mit einer Kapazität von je 3200 kN eingesetzt. Die Hydraulikpressen weisen einen Hub von 100 mm auf und sind mit einem Stellring ausgerüstet, damit die Last in jeder Stellung mechanisch abgesichert werden kann. Zusätzlich hat jede Presse eine Kugelkalotte, die eine Schrägstellung von 3 % zulässt.

Die Pressen werden immer paarweise an einem Hubpunkt installiert. Um eine Verzweigung während dem Hubvorgang auszuschliessen, werden gegenüberliegende Hubpunkte hydraulisch verbunden. Somit gelten jeweils vier Hydraulikpressen mit 12 800 kN als ein hydraulischer Punkt. Durch die leichte Krümmung der Tunnelröhre wurde beim Anheben eine leichte Horizontalverschiebung der Tunnelröhre erwartet. Die Pressen werden auf Gleitpackungen gestellt, um sie vor unzulässigen Horizontalkräften zu schützen. Dies erlaubt eine automatische Anpassung an die zwingungslose Horizontallage. Weiter werden die Hubpunkte in 13 unabhängig gesteuerten Hydraulikkreisläufe aufgeteilt. Somit wird der 150 m lange Tunnel während dem ganzen Anhebevorgang wie auf einem Ölbett gelagert. Ein Aufbauen von Verzweigungen zwischen den Hubstellen ist so gut wie ausgeschlossen. Jede der 13 Gruppen wird mit einem separaten, d.h. mit einem druckunabhängigen Hydraulikaggregat ölbeaufschlagt. Die Aggregate haben normalerweise eine konstante Ölfördermenge. Das heisst, jede Presse hat eine konstante und gleichschnelle Ausfahr-geschwindigkeit. Um ein kontinuierliches Ausrichten zu gewährleisten, wird der Ölfluss mit einem speziell dafür entwickelten Steuerungsprogramm geregelt. Eine besondere Schwierigkeiten bei der Steuerung des Hebevorganges ist der Umstand, dass nicht eine definierte «tote» Last, sondern eine Tunnelröhre mit einem grossen Biege-widerstand anzuheben ist und zum Ausgleich der Setzungsmulde an jedem Hebepunkt eigene Hebemasse abzarbeiten waren.

Die Hydraulikhochdruckaggregate werden über ein Programm zentral gesteuert. Je Aggregat ist eine Busbox installiert, welche die Steuerungsaufgaben übernimmt. Die Boxen sind über ein Bussystem miteinander verbunden und werden zentral überwacht. In der Steuerzentrale können alle von den Busboxen erfassten Daten zentral über einen PC visualisiert werden. An die Busboxen werden für die Überwachung und Steuerung analoge Druck- und Weggeber montiert. Mit den Druckgebern kann jederzeit der Druck respektive die Kraft in jeder Pressengruppe gemessen werden. Mit den Weggebern wird der absolute Weg des Tunnels zum Streifenfundament gemessen. In die Steuerung können nach jedem Hubschritt die jeweils geforderten unterschiedlichen Werte eingegeben werden.

### **Messtechnische Überwachung**

Als unabhängiges Messsystem ist im Tunnel ein automatischer Theodolith installiert. Dieser dient einerseits zur Überwachung des Setzungsverhaltens des Tunnels und liefert andererseits absolute Messdaten während den Tunnelanhebungen. Die Weggeber der Hebeanlage liefern nur relative Höhendifferenzen.

Der automatische Theodolith ist inmitten der Setzungsmulde disponiert. Er zielt entsprechend einem vorgegebenen Messprogramm selbsttätig die Prismen der Messpunkte sowie die ausserhalb des Setzungs-bereiches liegenden Referenzpunkte an. Die Messdaten werden per Fernabfrage übertragen und im Büro ausgewertet. Bei Erreichen eines Alarmwertes erfolgt ebenfalls fernübertragen eine automatische Alarmierung auf die PC's des Systembetreuers und der SBB AG. Während der Tunnelanhebung liefert das Messsystem die Messwerte für den Zwischenabgleich der Messungen der Hebeanlage. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das auf Meereshöhe definierte Hebeziel sicher erreicht wird.

### **Tunnelunterstopfung, Entwicklung eines Spezialbindemittels**

Nach Anhebung des Tunnels entsteht unter dessen Sohlgewölbe ein Hohlraum, der wieder tragfähig verfüllt werden muss, um die gleichmässige Bettung des Tunnelprofils im Betriebszustand zu gewährleisten. Zu diesem Zweck ist ein spezielles Bindemittel konzipiert worden, das die gestellten Anforderungen erfüllt. Der zu unterstopfende Hohlraum hat eine maximale Mächtigkeit von 20 bis 25 cm und läuft an den Rändern der Setzungsmulde auf Null aus.

In erster Linie muss das Verfüllmaterial ein sehr gutes Fliessverhalten aufweisen, damit auch die äussersten auslaufenden Enden der Hebezzone restlos und hohlraumfrei unterstopft werden können. Weiterhin muss das Absetzmass gering bleiben, damit nicht später im Laufe des Abbindeprozesses Klüfte und Spalten zwischen der Tunnelunterseite und dem Stützkörper entstehen. Als dritte und sehr wichtige Anforderung durfte die Verfüllmasse trotz ihrer Fliessfähigkeit nicht in den Untergrund versickern, da an manchen Stellen mit der Anhebung des Tunnels der sehr durchlässige Kiesuntergrund freigelegt wurde. Weiter muss das Material

auch eine ausreichende Druckfestigkeit erlangen, um eine sichere Lagerung des Tunnelprofils zu gewährleisten.

Um all diese Anforderungen in einem Produkt zu vereinen, bedurfte es einiger Labor- und auch Feldversuche. Aus diesen sehr praxisbezogenen Vorabklärungen, bei denen Ingenieur, Unternehmung und Bindemittelhersteller sehr eng zusammenarbeiteten, resultierte schliesslich ein massgeschneidertes hydraulisches Spezialbindemittel aus gebranntem Ölschiefer, Kalksteinmehl und Bentonit. Dieses Produkt wurde nach einer sehr raschen und effizienten Entwicklungsphase für die anschliessende Ausführung als Fertigprodukt in Pulverform mit Silofahrzeugen auf die Baustelle geliefert.

Für die Tunnelunterstopfung werden je nach Hebemass 150 bis 180 t Bindemittel an einem Tag eingebracht. Dies ist erforderlich, um ein vorzeitiges Abbinden des Bindemittels zu verhindern, bevor der zu unterstopfende Spalt hohlraumfrei verfüllt ist. Das Unterstopfmateriale wird aus dem Servicekanal unter den Tunnel verpresst. Über Standrohre wird der Füllstand unter dem Sohlgewölbe überwacht. Die Anlieferung des Bindemittels erfolgt genau geplant im Stundentakt. Die Suspension wird über eine Aufbereitungsanlage mit einer Leistung von rund 20 m<sup>3</sup>/h permanent hergestellt und unter den angehobenen Tunnelkörper eingebracht.

#### Setzungsausgleich nach Programm

Die Tunnelanhebung erfolgt nach einem vorgegeben Programm (Bild 5):

- Anheben des Tunnelgewölbes in mehreren Schritten mit zwischenzeitlichem Abgleich der Sollhebemasse
- Überwachung der Tunnelanhebung durch Risskontrollen und Deformetermessungen
- Tunnelunterstopfung
- Erstarren des Unterstopfmateriale

- Wiederanheben des Tunnels um rund 1cm zur Ablösung des Sohlgewölbes vom Unterstopfmateriale
- Erhärten des Unterstopfmateriale
- Ablassen des Tunnels auf seine neue kontinuierliche Bettung

#### Alle Jahre wieder - Tunnelanhebung

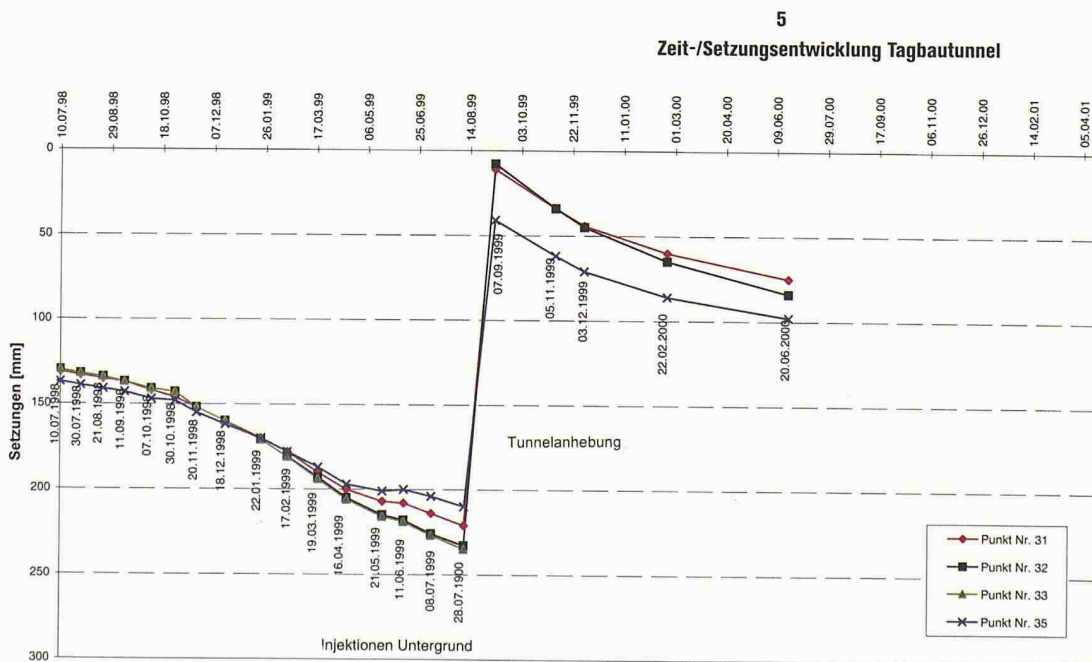
Im August 1999 konnte die erste Tunnelanhebung erfolgreich durchgeführt werden. Das gewählte Konzept hat sich als richtig erwiesen.

Bei anhaltenden, wenn auch verminderten Setzungen konnte im November 2000 noch vor Inbetriebnahme des Tunnels bereits eine erste Wiederholanhebung ebenfalls erfolgreich abgeschlossen werden. Je nach Setzung muss eine Tunnelanhebung alle zwei bis vier Jahre wiederholt werden.

Jürgen Wecke, dipl. Ing. FH, Josef Kalak, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbüro A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Hochstrasse 48, 4002 Basel, Daniel Alfred Schäuble, dipl. Ing. HTL/STV, Hebetec Engineering AG, Sagi 1, 3324 Hindelbank, Peter Wellauer, dipl. Ing. ETH/SIA, Georoc AG, Siewerdtstrasse 10, 8050 Zürich

#### Eröffnung Adlertunnel

Diese Woche, am 4. Dezember 2000, wurde der Adlertunnel feierlich eröffnet. Ab Fahrplanwechsel vom 10. Juni 2001 verkehren alle Züge des Fernverkehrs zwischen Basel und Liestal über diese Neubaustrecke.



**Bilder**  
SBB-NBS und Projektbeteiligte