

Geologisches Längenprofil und Vortriebsverfahren

Die Portalzonen und die Tagbaustrecke zwischen den beiden Hügelzügen liegen im grösstenteils wassergesättigten Lockergestein. Dabei handelt es sich um Gletschermoräne, welche aus Sandlinsen und verschwemmtem Gehängelehm bzw. Gehängeschutt besteht. Die Moräne ist z.T. infolge der Gletscherüberdeckung kompakt, der Gehängeschutt hingegen nur locker gelagert.

Im Bereich der 200 m langen Lockergesteinsstrecke beim Westportal steigt der Grundwasserspiegel von der Sohle bis über den Tunnelfirst an. Die 200 m lange Lockergesteinsstrecke östlich der Lüftungszentrale Reppischtal liegt völlig im Grundwasser, allerdings bei geringer Durchlässigkeit. Die rund 400 m lange Lockergesteinsstrecke beim Ostportal befindet sich über dem Grundwasser.

4. Baumethoden

Von Beginn der Planung an war vorgesehen, dass die Wahl des Vortriebsverfahrens dem freien Wettbewerb überlassen werden soll. So wurden denn auch parallel zwei Projekte ausgearbeitet, nämlich eines für den konventionellen Vortrieb (Sprengvortrieb bzw. Vortrieb mit Teilschnittmaschinen) sowie eines für einen TBM-Vortrieb sowohl in der Lockergesteinsstrecke als auch für den Felsbereich (Mixschild-TBM). Aufgrund einer Risikobeurteilung wurde zur Submission schlussendlich jedoch nur der konventionelle Vortrieb zugelassen bzw. eine den vollen Tunnelquerschnitt umfassende Tunnelbohrmaschine (TBM im Vollschnitt) ausgeschlossen. Eine Mixschild-TBM schied damit aus.

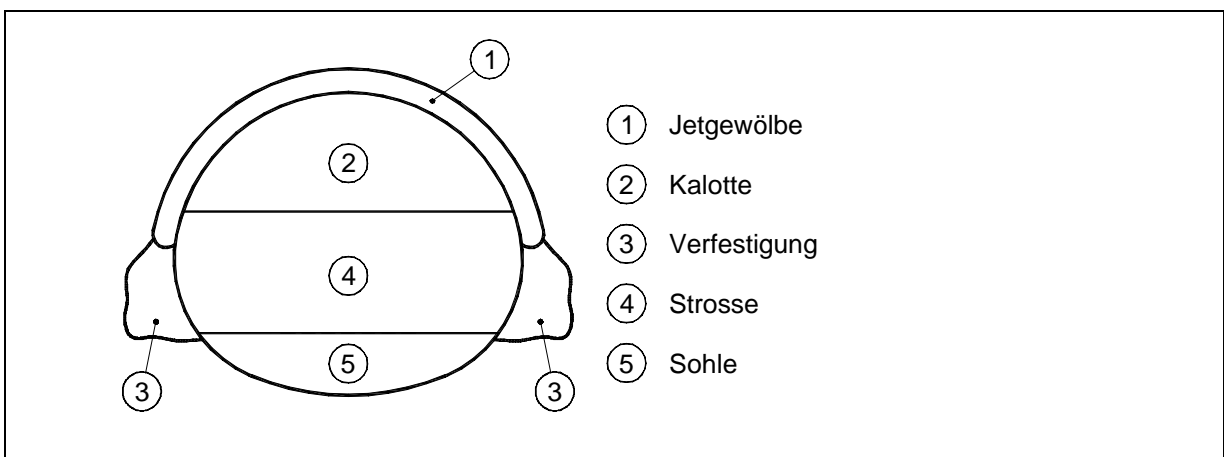
Lockergesteinsstrecken

Im Zuge der Submissionsvorbereitung wurden die folgenden fünf möglichen Baumethoden im Detail untersucht:

- a) Kalottenausbruch / Strossenabbau / Jettingewölbe und Spritzbeton
- b) Kalottenausbruch unterteilt / Strossenabbau / Jettingewölbe
- c) Kernbauweise mit Stahleinbau und Spritzbeton
- d) Kalottenvortrieb mittels Messerschild und Spritzbetonsicherung
- e) Kalottenvortrieb im Schutze eines Gefrierkörpers

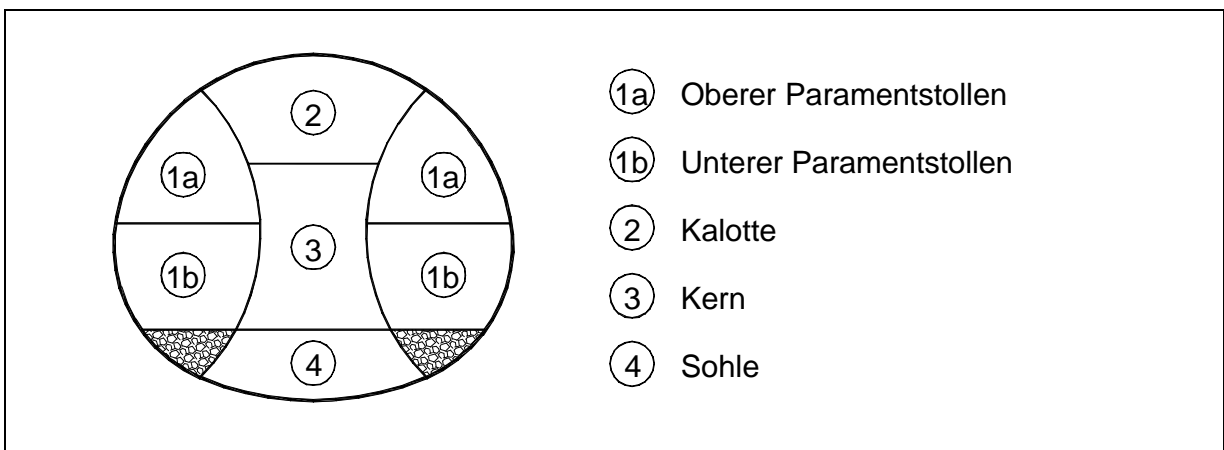
In einer Vorauswahl schieden die Varianten b) und e) aus. Die übrigen drei wurden detailliert miteinander verglichen.

- a) Kalottenausbruch / Strossenabbau / Jettingewölbe und Spritzbeton



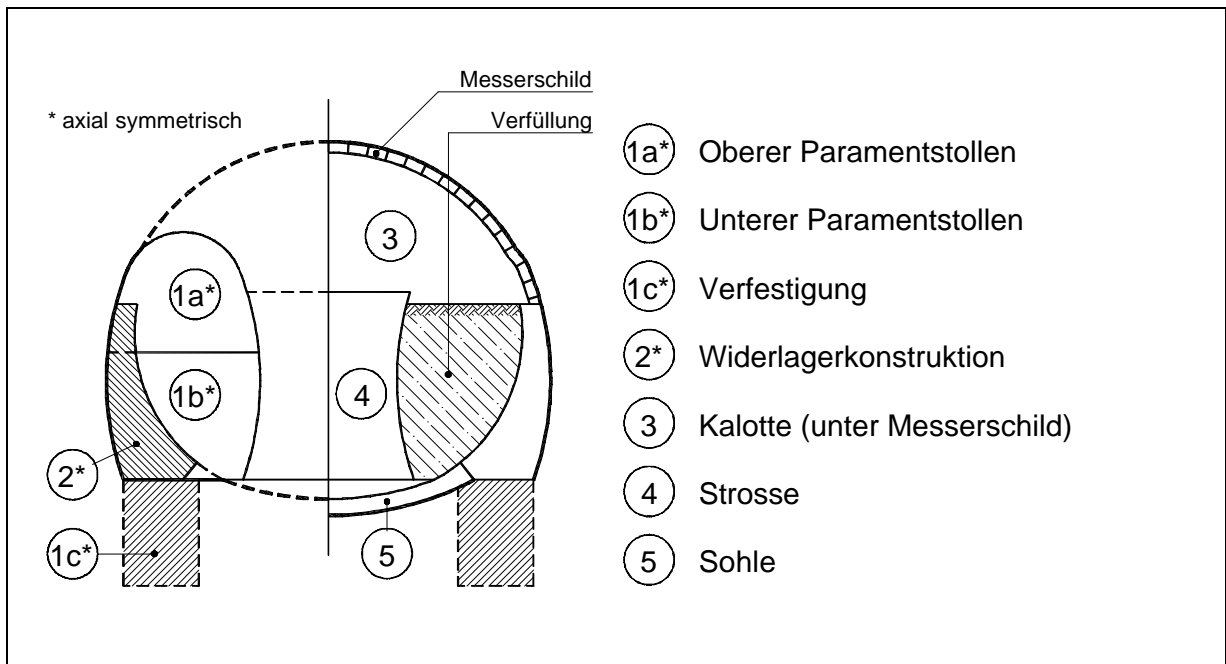
Schematische Darstellung Var. a) Kalottenausbruch

- c) Kernbauweise mit Stahleinbau und Spritzbeton



Schematische Darstellung Var. c) Kernbauweise

d) Kalottenvortrieb mittels Messerschild und Spritzbetonsicherung



Schematische Darstellung d) Messerschild

Als geeignetste Methode für die Durchörterung der wechselnden Verhältnisse in den Lockergesteinsstrecken wurde aufgrund einer Risikoanalyse und einer Kosten-/Wirksamkeitsbetrachtung die Kernbauweise evaluiert. Das Resultat der Submission hat diese Vorauswahl schlussendlich bestätigt.

Deshalb werden alle Lockergesteinsstrecken in der Kernbauweise ausgebrochen.

Molassestrecke Eichholz

Der rund 500 m lange Abschnitt unter dem Ettenberg (Molassestrecke Eichholz) wird sprengtechnisch unterteilt in Kalotte/Strosse und Sohle ausgebrochen.

Die Ausbruchsicherung besteht aus Stahlfaser- und/oder netzbewehrtem Spritzbeton, Felsankern und ist im Unterquerungsbereich mit Stahleinbau verstärkt.

In diesem Abschnitt wird der bestehende Landikontunnel der SBB Linie Zürich-Zug in einem Abstand von lediglich 3 m unterfahren. Zu diesem Zweck wird der 140 Jahre alte, ausgemauerte Bahntunnel vorgängig ertüchtigt.

Molassestrecke Uetliberg

Aufgrund eines Unternehmervorschlages wird die rund 2'800 m lange Felsstrecke mit einer Erweiterungs-Tunnelbohrmaschine aufgeföhren. Zu diesem Zweck wird im Zentrum vorgängig ein Pilotstollen mit einer Wirth-TBM mit einem Durchmesser von 5 m erstellt. Gesichert wird dieser mit Stahlfaserpritzbeton und zerspanbaren GFK-Ankern. Es ist ein fallender Vortrieb vom Reppischtal Richtung Brunau geplant.

In einem zweiten Arbeitsgang wird der Pilotstollen auf das volle Profil ausgeweitet. Es kommt weltweit erstmals eine Wirth-Ausweitmaschine mit Hinterschneidtechnik zum Einsatz. Darüber mehr im Referat von T. Murer.

Die Sicherung, bestehend aus Seilankern, Swellex-Ankern, Netzen und Spritzbeton wird hier direkt hinter dem Bohrkopf eingebaut. Unter dem Nachläufer wird die Abdichtung, die Sohle, der Werkleitungskanal (vorfabrizierte Elemente) und die seitliche Hinterfüllung aus aufbereitetem Molassematerial erstellt. Die Verkleidung und die Zwischendecke werden etappiert im rückwärtigen Bereich gebaut.

Transportstollen

Beim Bau des Uetlibergtunnels fallen gesamthaft ca. 1,7 Mio. fest-m³ Aushub- und Ausbruchmaterial an. Jener Anteil des Ausbruchmaterials, welcher nicht im Projektgebiet Wiederverwendung findet, wird grösstenteils per Bahn abtransportiert.

Aus der Tagbaugrube Reppischtal und den hier startenden Tunnelvortrieben fallen ca. 70% des gesamten Materials an. Dieses wird via Förderbandanlage durch einen 500 m langen Transportstollen zur Bahnverladestelle Filderen im Bereich des Verkehrsdreiecks Zürich West abtransportiert. Auf demselben Förderband werden auf dem Rückweg die Zuschlagsstoffe für die Betonherstellung im Reppischtal transportiert.

Der Transportstollen wurde mit einer Wirth-TBM mit einem Bohrdurchmesser von 3.70 m aufgeföhren. Die Unterquerung des vorgängig verstärkten Landikontunnels mit einem Abstand von lediglich 7 m gelang problemlos.



Baugrube Reppischtal

5. Bisherige Bauausführung

Auffahren der Lockergesteinsstrecke Diebis

Der totale Ausbruchquerschnitt von 147.8 m² wird wie folgt unterteilt:

- Beidseitige obere Paramentstollen	2 x 17.4 m ²
- Beidseitige untere Paramentstollen	2 x 22.6 m ²
- Kalotte	24.3 m ²
- Kern	26.7 m ²
- Sohle	16.8 m ²

Paramentstollenvortriebe

Die oberen Paramentstollen werden in Meter-Schritten mittels Kleinbagger ausgebrochen und direkt nach dem Ausbruch mit einer ca. 5 cm starken Trockenspritzbetonschicht versiegelt. Im Schutze der Versiegelung wird in Meter-Abständen der Stahleinbau (HEM 180) eingebaut. Nach einer weiteren Ausbruchetappe erfolgt das Zuspritzen der Einbauträger mit Stahlfaser-Nassspritzbeton. Infolge Wasseranfall und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit mussten zeitweise im Vortriebsbereich zusätzliche Sicherungsmassnahmen wie Spiesse, Netze und Drainagerohre im Firstbereich eingebaut werden. Die oberen Paramentstollen werden im Hinblick auf eine Entwässerungswirkung für den Kalottenausbruch, dem gesamten Tunnelquerschnitt vorausseilend vorgetrieben. Der Bereich der unteren Paramentstollen wird im Abstand von 10-20 m mit den selben Sicherungselementen nachlaufend ausgebrochen.

Kalottenvortrieb

Für den Kalottenvortrieb mit einer Spannweite von ca. 8 m wurde in der Startphase ein 20 m langer Rohrschirm aus 29 Rohrschirmbohrungen ausgeführt. Als Bauhilfsmassnahmen im Anschluss an den Rohrschirm haben sich die folgenden Elemente bewährt:

- Firstsicherung mit Spiessen Ø 30 mm, Länge 4 m
- Brustankerung mit neun 15 m langen Stahlankern
- Zusätzlich bei Wasservorkommen Drainagerohre

Der Ablauf für den Einbau der Sicherungselemente erfolgte analog den Paramentstollenvortrieben.



Vortrieb in Kernbauweise

Abbau des Kerns

Zur Reduktion der Deformationen im Gesamtprofil wurde festgelegt, dass der Sohlringchluss im Abstand von 40 m zur Kalottenbrust erfolgen muss. Eine zusätzliche Bedingung ist, dass die inneren Paramentstollenwände erst 6 m hinter der Kalottenbrust abgebrochen werden können. Auf Wunsch der Unternehmung wird der Kern nicht senkrecht - wie ursprünglich im Projekt vorgesehen - sondern mittels einer Rampe bis zum Sohlausbruch abgebaut.

Sohlausbruch, Ringschluss

Sobald 12 m Kalottenvortrieb ausgebrochen sind, werden die Arbeiten auf den Sohlausbruch umgestellt. Dieser erfolgt in 12-Meter-Etappen von der Tunnelbrust her Richtung Portal. Es wird jeweils ein Teilausbruch von 3-4 m geöffnet, in welchen die Versiegelungsschicht, Stahleinbau und Stahlfaser-Nassspritzbeton eingebracht werden. Mit diesem rücklaufenden Vorgehen muss die Schüttung im Sohlbereich nicht laufend vor Kopf über den frisch gespritzten Nassspritzbeton ausgeführt werden.

6. Resultate der Bauwerksüberwachung

Die messtechnische Überwachung der Tunnelvortriebe erfolgt mit verschiedenen Messeinrichtungen wie Piezometer, 3-D-Konvergenzmessungen, Extensometer, Distometer, Profilaufnahmen und Stahldehnungsmessgeber (Strain Gauges). Insgesamt sind bisher rund 20 Messquerschnitte eingerichtet worden.

Verhalten des Grundwasserspiegels

Im Laufe der geologischen Sondierkampagnen (89/90) wurden im Bereich des Installationsplatzes Landikon nach dem Abtiefen der Kernbohrungen Piezometerrohre versetzt und die Lage des Grundwasserspiegels gemessen. Seit Beginn der Vortriebsarbeiten werden die Grundwasserstände wieder periodisch gemessen. Zusätzlich wurden im Anfangsbereich der Lockergesteinsstrecke Diebis noch weitere Piezometer erstellt. Die Messresultate zeigen ein Absenken des Grundwasserspiegels nach dem vorgezogenen Auffahren der Paramentstollen um ein bis drei Meter.

Deformationsmessungen

Die Verformungen bzw. Bewegungen der Ausbruchoberfläche werden mit optischen 3-D-Konvergenzmessungen, Distometermessungen und Profilaufnahmen überwacht.

Die Konvergenzmessungen zeigen, dass sich z.B. beim Vortrieb des oberen Paramentstollens bei rund 20 m Überlagerung praktisch keine messbaren Verformungen einstellen. Beim Ausbruch des unteren Paramentstollens setzen sich die oberen Paramentstollen um rund 2.5 cm. Gleichzeitig kann mit den Distometermessungen eine horizontale Querschnittsverengung von 1 bis 1.5 cm festgestellt werden. Nach dem Ausbruch der Kalotte werden dort Verformungen bis 1 cm gemessen. Beim Ringschluss treten bei allen Messpunkten nochmals rund 3 cm Verformungen auf, was zu Gesamtverformungen von ca. 7 cm führt. Die zu verschiedenen Zeitpunkten - vor respektive nach dem Ringschluss - gemachten Profilaufnahmen zeigen Werte in gleicher Grössenordnung.

Die gerechneten Verformungswerte lagen bei 5-10 cm. Der Vergleich mit den effektiven Messwerten für die Gesamtverformung bestätigt somit die Rechenwerte.

Extensometermessungen

Bei einzelnen Querschnitten werden in den verschiedenen Vortriebsphasen zur Kontrolle Extensometer versetzt. Dabei handelt es sich um 3 resp. 4-fach Extensometer mit einer Länge von max. 12 m.

Beim Auffahren der Teilquerschnitte stellen sich Bewegungen des Lockermaterials ausserhalb des Querschnitts ein. Diese Bewegungen gehen weit über die Verankerungszone der Extensometer hinaus und beeinflussen somit die Extensometermesswerte. Es werden auch Setzungen an der Oberfläche bis zu 5 cm festgestellt. Die mit den Extensometern gemessenen Bewegungen sind ca. 5 mal kleiner, als die der optischen 3-D-Konvergenzmessungen oder der Profilaufnahmen. Aus diesem Grund richtet sich die Baustelle nach den Resultaten der 3-D-Konvergenzmessungen und der Profilaufnahmen.

Stahldehnungen (Strain Gauges)

Bei 4 Querschnitten wurden auf die Stahlträger je 7 Stahldehnungsmessgeber (Strain Gauges) montiert. Die einzelnen Messwerte an der gleichen Stelle der vier Querschnitte weisen jedoch relativ grosse Unterschiede auf. Dies kann einerseits auf Inhomogenitäten im Boden, andererseits auf unterschiedlich kraftschlüssiges Einspritzen der Stahlträger zurückgeführt werden. Die Auswertungen der Messungen zeigen, dass sich nach dem Aufbringen der Ausbruchsicherung ein gewisses Kraftniveau in den Stahlträgern einstellt. Zudem kann die Zunahme der Belastung bei der Öffnung jedes weiteren Teilquerschnitts festgestellt werden. Weitergehende Interpretationen sind wegen der starken Streuung der Messwerte nicht zulässig.

7. Stand der Arbeiten

Der Transportstollen wurde am 20. September 2001 durchgeschlagen.

Bei der Drucklegung waren die beiden Tunnelröhren der Lockergesteinsstrecke Diebis zu rund 80% fertiggestellt. Es wurden in den oberen bzw. unteren Paramentstollen Vortriebsleistungen bis 5 m/AT erreicht.

Über dem Vollquerschnitt gerechnet ergaben sich Leistungen von ca. 1.1 m/AT.

8. Ausblick

Die Arbeiten am Uetlibergtunnel haben gut begonnen. Wenn das ambitionöse Bauprogramm eingehalten werden kann, sind folgende Meilensteine von Interesse:

- | | |
|---|-----------------|
| - Durchschlag erster Pilotstollen am Ostportal: | Februar 2003 |
| - Beginn Erweiterungs-TBM in der Röhre Basel: | Juli 2003 |
| - Rohbauende: | November 2006 |
| - Inbetriebnahme: | Frühestens 2008 |

Alle am Bau Beteiligten sind gespannt, wie sich der erstmalige Einsatz einer Erweiterungs-TBM mit Hinterschneidtechnik bewähren wird.



Alex Sala
Dipl. Bauingenieur FH
Vorsitzender der Geschäftsleitung

asala@amberg.ch

Amberg Engineering AG
Trockenloostrasse 21
Postfach 27
CH-8105 Regensdorf-Watt

Tel. +41 1 870 91 11
Fax +41 1 870 06 20
www.amberg.ch