

Der Uetlibergtunnel, das Schlüsselbauwerk der Westumfahrung von Zürich (Schweiz)

O. Schnell, D. Marti, St. Maurhofer, J. Bolliger

Am 4. Mai 2001 erfolgte der Anschlag am Uetlibergtunnel. Der Uetlibergtunnel ist mit 4.4 km der längste von vier Tunnels der Westumfahrung von Zürich. Beim Uetlibergtunnel kommen unterschiedliche Vortriebmethoden zum Einsatz. Am interessantesten ist der Einsatz einer Ausweitungstunnelbohrmaschine (TBE) mit Hinterschneidtechnik und einem Bohrdurchmesser von 14.40 m, welche ab Frühjahr 2003 im Einsatz stehen wird.

Übersicht Westumfahrung Zürich

Am 13. September 1996 wurde mit dem Spatenstich an der Umfahrung Birmensdorf der Baubeginn der Westumfahrung von Zürich gefeiert. Mit diesem bedeutenden Meilenstein kommt man dem Ziel, eine umweltgerechte, sichere und bequeme Westumfahrung der Stadt Zürich zu schaffen, einen grossen Schritt näher. Die durch den Pendlerverkehr wie auch durch den stetig wachsenden Transitverkehr betroffene Bevölkerung im Grossraum Zürich und der Stadt Zürich wird durch den Bau der Westumfahrung eine wesentliche Verkehrsberuhigung erfahren.

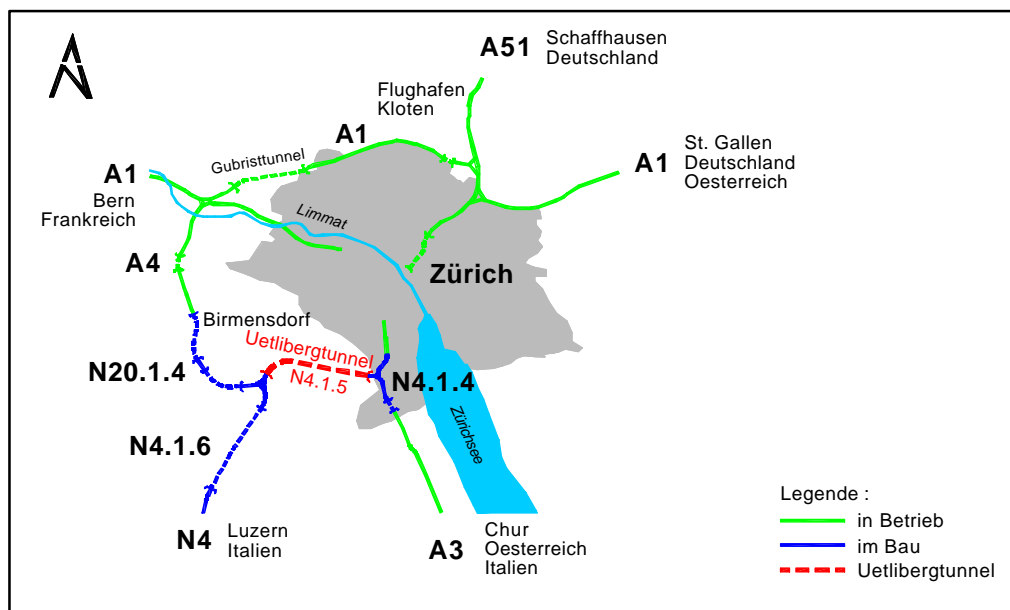


Bild A: Nationalstrassen im Raum Zürich

Die Westumfahrung von Zürich gliedert sich für den Bau in die folgenden drei Nationalstrassenabschnitte:

- Umfahrung Birmensdorf (Nationalstrasse N20.1.4) von der Gemeindegrenze Birmensdorf bis Uetliberg-West einschliesslich dem Verkehrsdreieck Zürich-West
- Uetlibergtunnel (Nationalstrasse N 4.1.5)
- Verkehrsdreieck Zürich-Süd (Nationalstrasse N4.1.4) im Bereich Brunau - Uetliberg-Ost inklusive der Anpassung der bestehenden Autobahn A3 bis zum Anschluss Wollishofen mit der Überdeckung Entlisberg

Umfahrung Birmensdorf (N20.1.4)

Der 5.4 km lange Abschnitt der Umfahrung Birmensdorf schliesst beim Anschluss Urdorf-Süd an die seit 1987 in Betrieb stehende Autobahn A4 an.

In der Filderen-Ebene befindet sich das Verkehrsdreieck Zürich-West. Es liegt zwischen drei Tunneln und verknüpft die Bauabschnitte der Nationalstrasse N 20.1.4 mit der N4.1.5 (Uetlibergtunnel) und der N4.1.6 (Islisbergtunnel-Knonaueramt).

Uetlibergtunnel (N4.1.5)

Der 4.4 km lange Uetlibergtunnel ist das Schlüsselbauwerk der Westumfahrung Zürich und verbindet die Umfahrung Birmensdorf (N20.1.4) im Westen mit der bestehenden Nationalstrasse Zürich-Chur (Autobahn A3) im Osten.

Verkehrsdreieck Zürich-Süd (N4.1.4)

Das Verkehrsdreieck Zürich-Süd ist weitgehend durch die Lage des Ostportals des Uetlibergtunnels bestimmt und wurde so gelegt, dass alle Verkehrsbeziehungen über möglichst kurze Verbindungsrampen zur bestehenden Autobahn A3 führen.

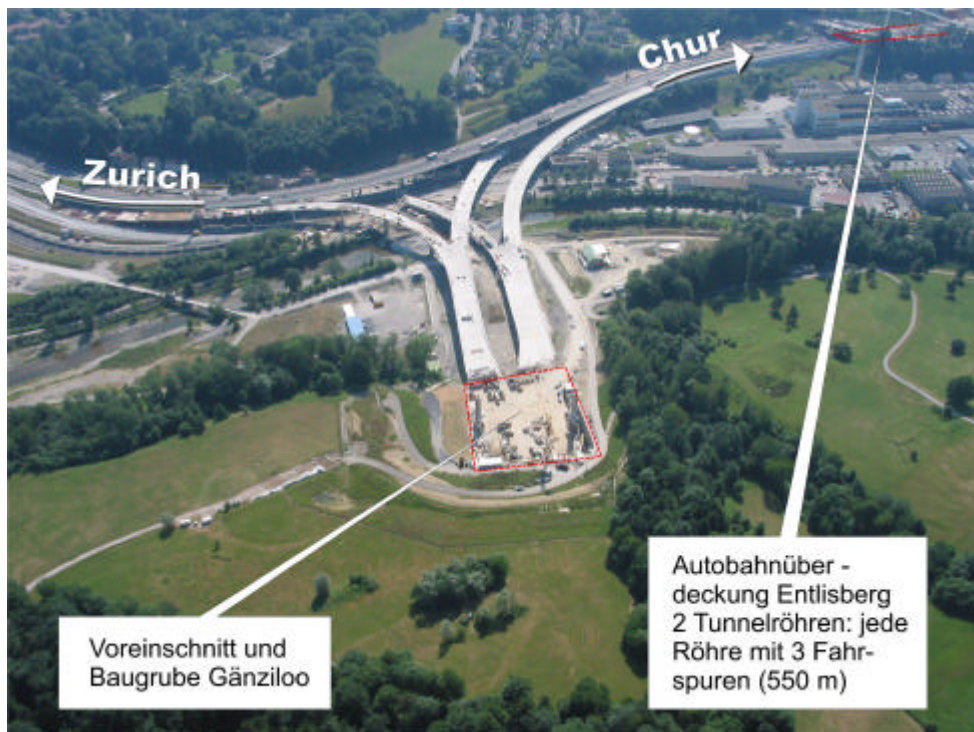


Bild B: Verkehrsdreieck Zürich-Süd

Mit der vor rund 30 Jahren erbauten A3 wurde das Gebiet Entlisberg zwischen dem Anschluss Brunau und dem Anschluss Wollishofen entzweigeschnitten. Dieser Streckenbereich wird nun von vier auf sechs Fahrstreifen erweitert. Zusammen mit diesem Ausbauschritt wird die Nationalstrasse auf einer Länge von 550 m überdeckt (Entlisbergtunnel).

Streckencharakteristik der Westumfahrung Zürich

Die Länge der Westumfahrung beträgt 10.6 km. Davon liegen 8.4 km (zirka 80 Prozent) in Tunneln. Die A3 wird im Verkehrsdreieck Zürich-Süd bis zum Anschluss Wollishofen auf sechs Spuren verbreitert und auf einer Länge von 550 m überdeckt (Entlisberg-Einschnitt). Die Westumfahrung Zürich steigt von Westen nach Süden von rund 470 auf 540 m ü.M. (Filderen) leicht an und fällt wieder im Uetlibergtunnel auf 430 m ü.M.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Die für eine Ausbaugeschwindigkeit von 100 km/h projektierte Autobahn weist in jeder Richtung eine Fahrbahnbreite von 10.50 m mit je zwei Fahrstreifen und einem für Sonderbetriebszustände befahrbaren Pannestreifen auf.

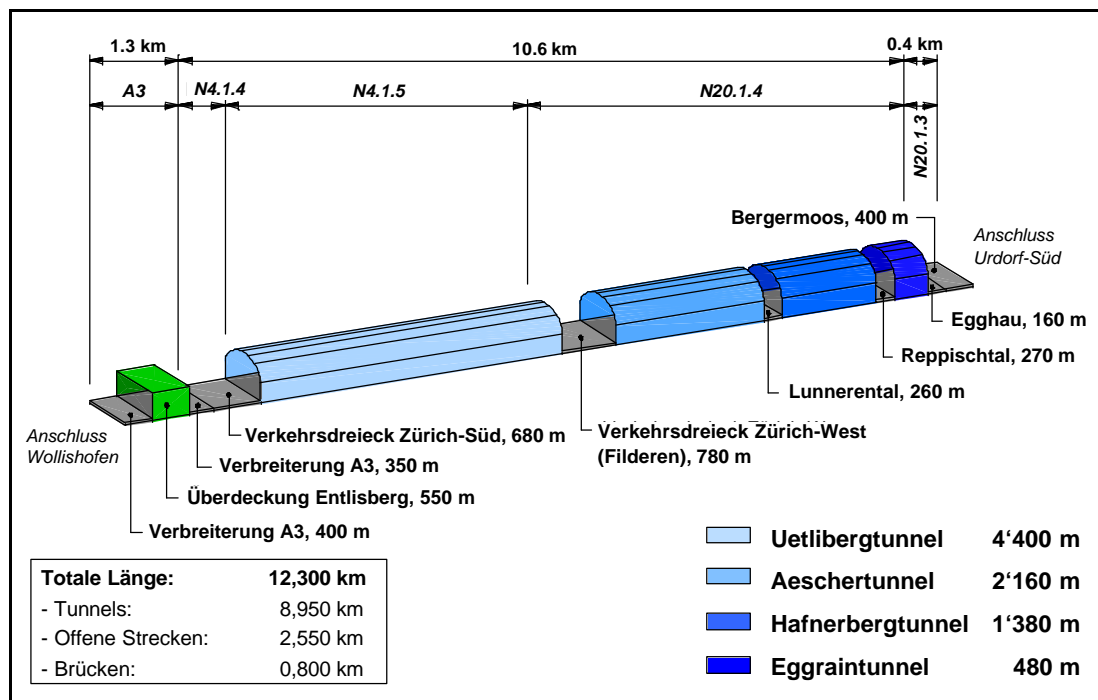


Bild C: Streckencharakteristik der Westumfahrung von Zürich

Uetlibergtunnel (N4.1.5)

Das Projekt umfasst zwei parallele Röhren von je rund 4.4 km Länge. Diese sind alle 300 m mit einem begehbaren und alle 900 m mit einem befahrbaren Querschlag verbunden. Der Abstand der SOS Nischen beträgt 150 m. Am West- und Ostportal befindet sich je eine Portalstation mit technischen Räumen.

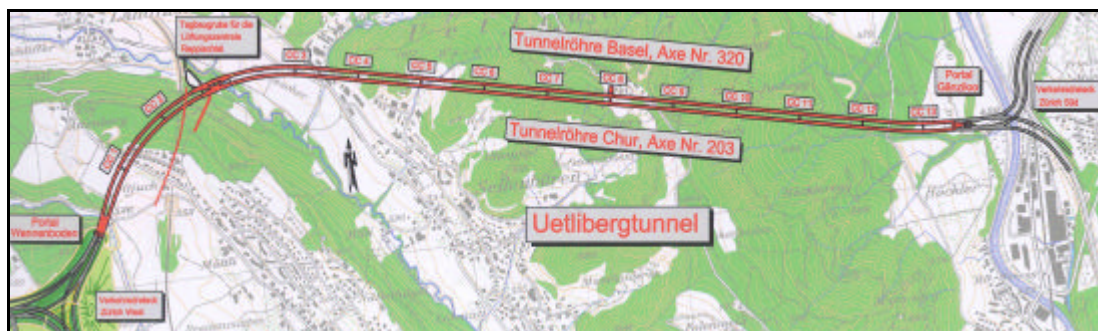


Bild D: Übersicht Projekt N4.1.5 Uetlibergtunnel

Im Reppischtal (Landikon) ist eine unterirdische Lüftungszentrale angeordnet, welche über einer ebenfalls unterirdischen Verkehrsüberleitung zu liegen kommt. Der Tunnel wird im Normalfall durch die natürliche Längslüftung / Kolbenwirkung in beiden Röhren belüftet. Für die Röhre Basel wird eine Umweltlüftung installiert, welche es erlaubt, die aus dem Tunnel heranströmende Luftmenge vor dem Portal Wannengraben abzusaugen. Die Luft wird im Kanalnetz längs der Tunnelröhren über der Zwischendecke zur Lüftungszentrale Reppischtal zurückgeführt und von dort über den Abluftstollen und Schacht Eichholz ins Freie ausgeblasen.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

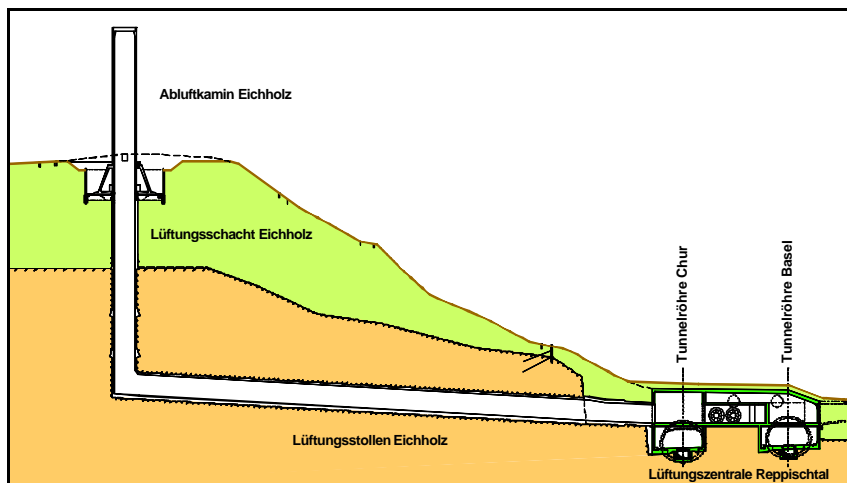


Bild E: Unterirdische Lüftungszentrale in Landikon

Logistik / Infrastruktur

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 Eisenbahn zu auffüllpflichtigen Kiesgruben im Kanton Zürich abtransportiert. Sowohl auf der Westseite als auch auf der Südseite befindet sich eine entsprechende Bahnverladeanlage für das Ausbruchmaterial.

Durch den Bauherrn werden in den Räumen Brunau, Filderen und Landikon je eine Betonanlagen betrieben, ab denen sämtliche beteiligten Bauunternehmer den Beton beziehen müssen.

Aus der Tagbaubaugrube Reppischtal und den hier startenden Tunnelvortrieben fallen alleine ca. 70% des gesamten Materials an, rund 1,2 Mio fest-m³. Aus diesem Grund wurde die Tunnelbaustelle in Landikon über eine Förderbandanlage mit der Bahnverladeanlage im Raum Filderen erschlossen. Über diese Förderbandanlage wird das Aushub- und Ausbruchmaterial zur Bahnverladeanlage transportiert. Dasselbe Förderband befördert auf dem Rückweg Zuschlagsstoffe für die Betonaufbereitung in der Betonanlage in Landikon.

Da zwischen dem Reppischtal und der Bahnverladeanlage Filderen ein Hügelszug liegt, verläuft das Förderband in einem eigens dazu erstellten 550 m langen Transportstollen (70 m im Lockergestein und 480 m in der Molasse). Mit den Voreinschnitten des Transportstollens wurde am 16. November 2000 begonnen. Ab dem 20. Februar 2001 wurde im Bereich Landikon und Wannensboden mit den Lockergesteinsvortrieben im Schutze eines Rohrschirms gestartet. Am 10. Mai 2001 hat eine Tunnelbohrmaschine mit Durchmesser 3.72 m den Vortrieb Richtung Filderen aufgenommen. Der Durchschlag des Transportstollens erfolgte am 20. September 2001. Die Förderbänder für den Abtransport des Ausbruchmaterials und den Antransport von Betonkies sind seit März 2002 in Betrieb.

Das beim Tunnelbau im Lockergestein anfallende Ausbruchmaterial wird mit Lastwagen auf dem Installationsplatz Landikon über eine Brecheranlage auf das Förderband übergeben. Sobald der Vortrieb in der Molassestrecke des Uetliberges mit der Tunnelbohrmaschine beginnt, wird das Material direkt ab der Ortbrust bis und mit der Bahnverladeanlage über ein kontinuierliches Bandsystem von 1'760 m (im Endausbau bis ca. 4'800 m Länge) zu der Bahnverladeanlage im Raume Filderen abtransportiert.



Bild F: Bahnverladeanlage Filderen (Verkehrsdreieck Zürich-West)

Geologie

Von Westen nach Osten unterfährt der Uetlibergtunnel die zwei parallel laufenden Hügelzüge Ettenberg und Uetliberg. Dazwischen liegt das Reppischtal, welches das Tunnelbauwerk in zwei unabhängige, bergmännisch zu erstellende Tunnels unterteilt. Dabei handelt es sich um den rund 710 m langen Eichholtunnel unter dem Ettenberg und den 3.450 m langen Uetlibergtunnel unter dem gleichlautenden Hügelzug.

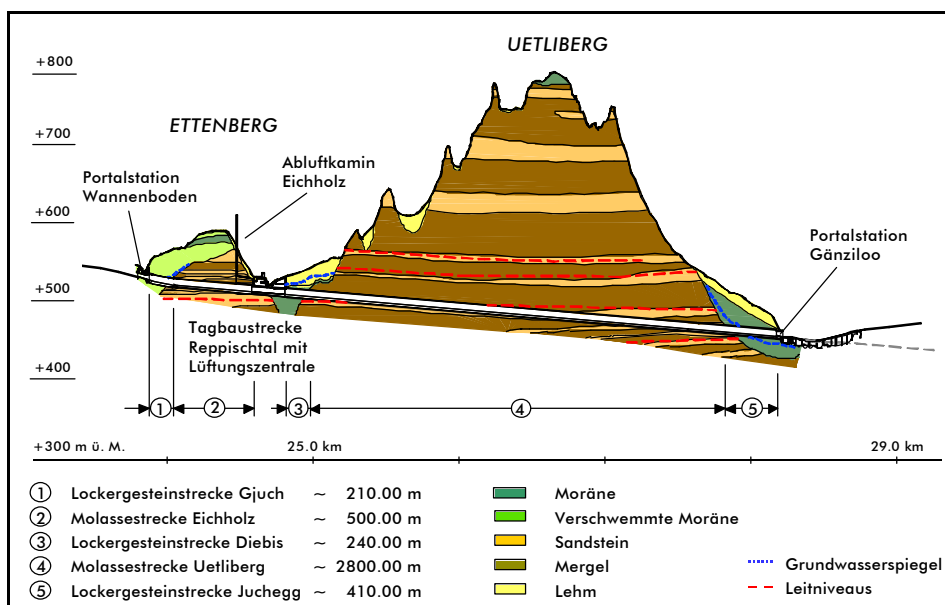


Bild G: Geologisches Längenprofil

Molassestrecke Eichholz (L= ca. 500 m) und Uetliberg (L= ca. 2'800 m)

Die Molassestrecken bestehen aus flach gelagerten Schichten der oberen Süsswassermolasse, einer Wechsellagerung von harten Sandsteinbänken und weichen Mergelschichten. Die maximale Überlagerung des Tunnels unter dem Uetliberg beträgt ca. 320 m. Zum Erreichen der Molassestrecken Eichholz und Uetliberg sind die drei Lockergesteinsabschnitte Gjuch, Diebis und Juchegg aufzufahren.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Lockergesteinsstrecke Gjuch (L = ca. 210 m)

Die Lockergesteinsstrecke Gjuch (beim Westportal Wannenboden) durchquert eine sehr heterogene Endmoräne. Es handelt sich dabei um einen lehmigen, sandigen Kies. Der Grundwasserspiegel steigt von anfänglich Mitte Tunnelprofil bis über den Tunnelfirst in Richtung Osten an.

Lockergesteinsstrecke Diebis (L = ca. 240 m)

Die Lockergesteinsstrecke Diebis (östlich der Baugrube Reppischtal) liegt in einer durch verschwemmten Gehängelehm überlagerten Grundmoräne. In der Grundmoräne werden alle Korngrößen inkl. Steine und Blöcke erwartet. Der verschwemmte Gehängelehm besteht aus Moränenmaterial und Feinanteilen. Zu Beginn der Lockergesteinsstrecke liegt das Tunnelprofil etwa zur Hälfte im Gehängelehm, der dann in Richtung Osten ansteigt. Nach ca. 50 Tunnelmetern befindet sich das ganze Profil in der Moräne. Das Tunnelprofil liegt in der Lockergesteinsstrecke Diebis vollständig im Grundwasser.

Lockergesteinsstrecke Juchegg (L = ca. 410 m)

Die Lockergesteinsstrecke Juchegg (beim Ostportal Gänziloo) liegt in einer Grundmoräne, die zu Beginn v.a. sandig-kiesig und anschliessend mehrheitlich lehmig-sandig zusammengesetzt ist. Darüber liegt der Uetliberglehm, der beim Portal etwa bis zur Mitte des Tunnelprofils reicht. Nach ca. 70 Tunnelmetern befindet sich das ganze Profil in der Moräne. Der Grundwasserspiegel liegt anfänglich unterhalb des Tunnelprofils und steigt beim Übergang von der sandig-kiesigen zur lehmig-sandigen Moräne an. Beim Übergang vom Lockergestein in die Molasse liegt das Tunnelprofil vollständig im Grundwasser.

Bauabläufe / Programme

Aus der Baugrube Reppischtal, welche in Etappen bis ins Jahr 2003 realisiert wird, erfolgt der fallende Vortrieb unter dem Uetliberg hindurch zum Verkehrsdreieck Zürich-Süd in den Raum Brunau.

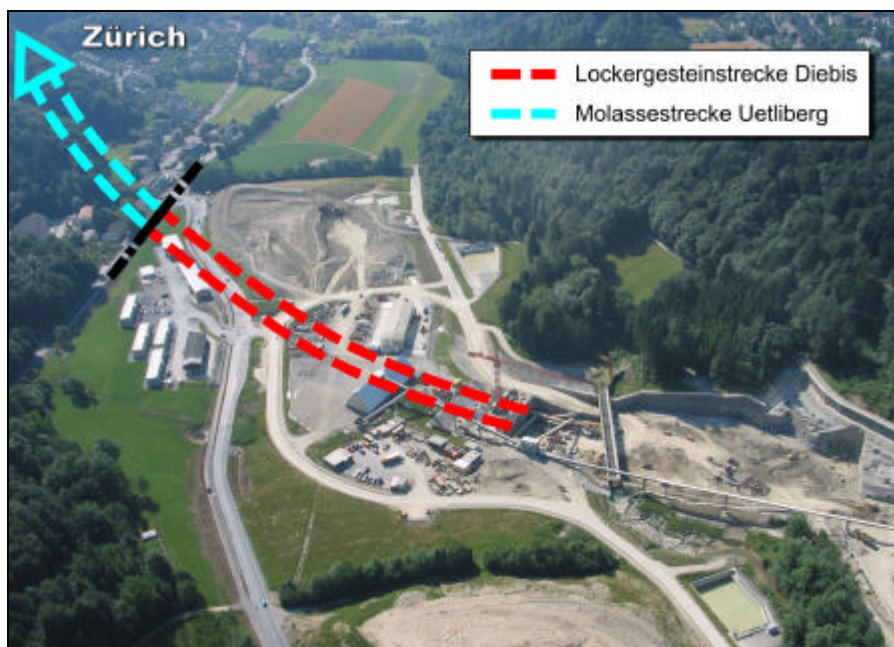


Bild H: Installationsplatz Landikon / Baugrube Reppischtal

Vom April 2001 bis Mai 2002 wurden aus der Baugrube Reppischtal in Landikon die beiden Tunnelröhren der Lockergesteinsstrecke Diebis (LG-DIE = 2 x 240 m) in der Kernbauweise aufgeföhren und die Startkavernen für die spätere Ausweitungstunnelbohrmaschine sprengtechnisch ausgebrochen. Anfangs April 2002 wurde die Tunnelbohrmaschine TBM (Wirth TB

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

III 500 E, Durchmesser 5.00 m) in der Tunnelröhre Basel installiert, mit welcher seit Mitte Mai 2002 die gesamte Molassestrecke des Uetlibergs (MO-UET = 2 x 2'800 m) aufgefahen wird. Ab Frühjahr 2003 wird der Pilotstollen in der Molassestrecke von 5 Metern Durchmesser mit einer Ausweitungstunnelbohrmaschine (TBE) mit Hinterschneidtechnik auf das endgültige Profil von 14.20 bis 14.40 m ausgeweitet. Der Ausbruch eines Pilotstollens mit einer TBM, gefolgt von einer Ausweitung mit einer TBE, wird anschliessend in der Röhre Chur wiederholt.

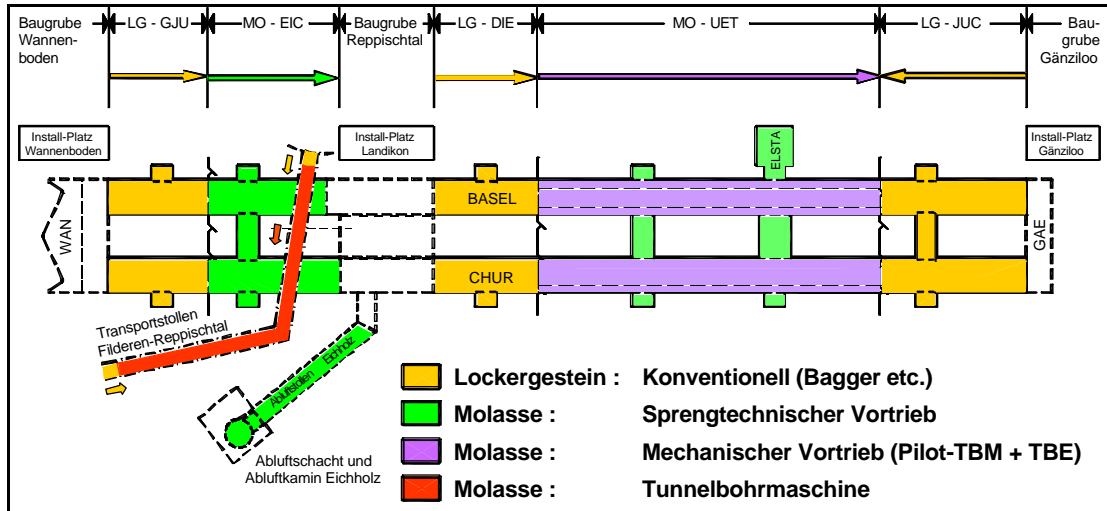


Bild I: Vortriebsrichtungen und -technik

Aus der Baugrube Gänziloo (Seite Brunau) erfolgt seit Februar 2002 der steigende Vortrieb der Lockergesteinsstrecke Juchegg (LG-JUC = 2 x 410 m). Die ersten Meter (ca. 50 m) des Tunnelvortriebes werden im Uetliberglehm im Schutze eines Rohrschirms ebenfalls in der Kernbauweise realisiert.



Bild J: Portalansicht Baugrube Gänziloo / Vortrieb Lockergesteinsstrecke Juchegg

Seit Anfangs April 2002 erfolgt auch der fallende Vortrieb aus der Baugrube Wanneboden unter dem Ettenberg hindurch in Richtung der Baugrube im Reppischtal. Zuerst wird hier die Lockergesteinsstrecke Gjuch (LG-GJU = 2 x 210 m) aufgefahen und im Anschluss die 500 m lange Molassestrecke Eichholz (MO-EIC).

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

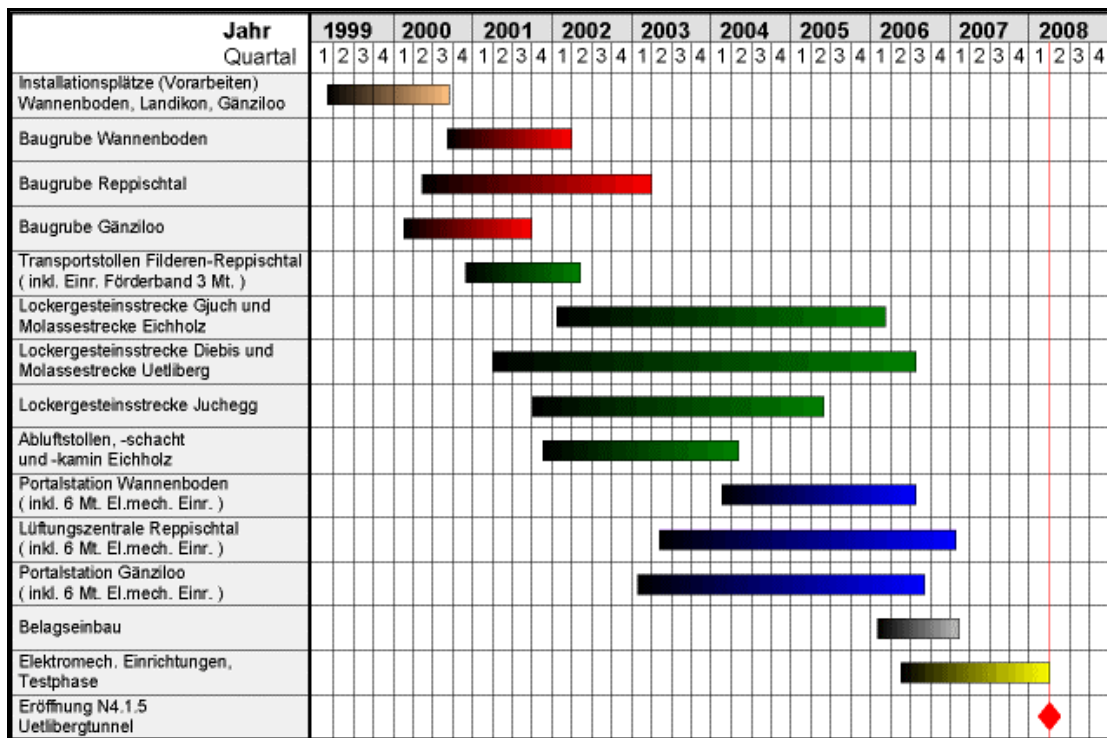


Bild K: Bauprogramm

Projektelemente und Vortriebsverfahren

Normalprofile

Das Normalprofil gliedert sich in 3 Teile:

- Fahrraum
- Abluftkanal (durch eine Zwischendecke vom Fahrraum abgetrennt)
- Unterbau mit Werkleitungskanal

Das Hufeisenprofil, welches in allen Lockergesteinsstrecken und in der Molassestrecke Eichholz zur Anwendung kommt, misst in der Breite rund 14.70 m und in der Höhe rund 12.70 m. Die Ausbruchfläche beträgt ca. 143 bis 148 m².

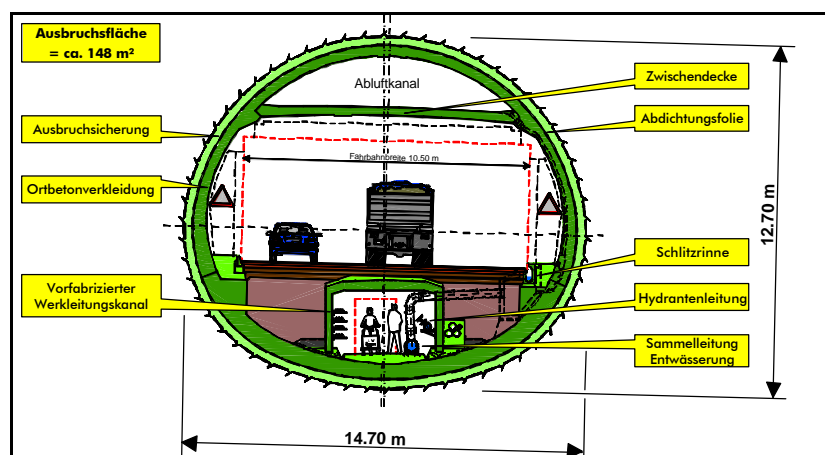


Bild L: Normalprofil Lockergesteinsstrecken und Molassestrecke Eichholz

Das Normalprofil der rund 2'800 m langen Molassestrecke Uetliberg weist eine Breite von 14.40 m bei einer Höhe von 14.20 m auf. Die Ausbruchfläche beträgt ca. 160 m².

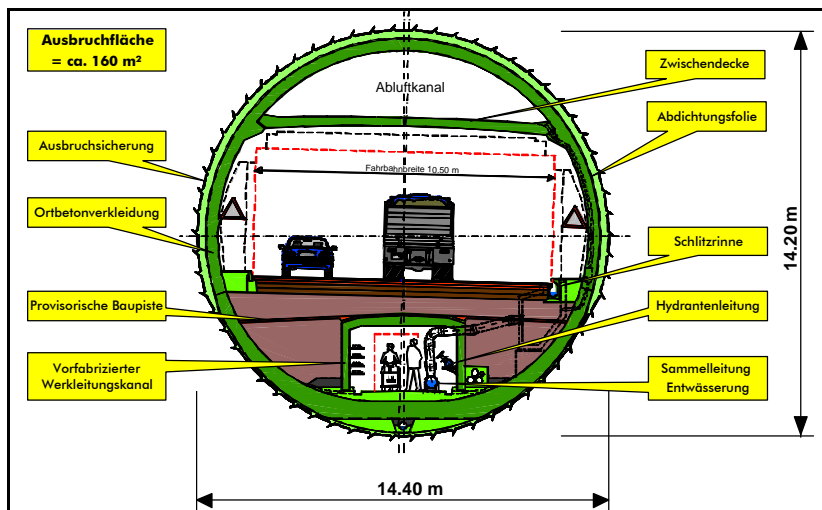


Bild M: Normalprofil Molassestrecke Uetliberg

Jede Tunnelröhre weist zwei Fahrstreifen und einen Pannestreifen mit einer totalen Fahrbahnbreite von 10,50 m auf. Das Quergefälle beträgt in den Geraden 2,5% und in den Kurven bis 5%. Auf beiden Seiten der Fahrbahn befinden sich 1 m breite, begehbare Bankette. Schlitzrinnen dienen der Fahrbahntwässerung und der Ableitung von Flüssigkeiten bei Unfällen.

Der Werkleitungskanal beinhaltet die Hydrantenleitung, die Hauptleitung der Fahrbahntwässerung sowie elektro-mechanische Einrichtungen.

Der Ausbau aller Tunneln erfolgt zweischalig mit einer Vollabdichtung. Die Abdichtung in den Lockergesteinsstrecken Gjuch, Diebis und Juchegg und der Molassestrecke Eichholz erfolgt druckhaltend und in der praktisch trockenen Molassestrecke Uetliberg drainiert (drucklos).

Vortrieb Lockergesteinsstrecken Gjuch, Diebis und Juchegg

Alle Lockergesteinsstrecken werden in der Kernbauweise aufgeföhren. Die Ausbruchsicherung in den Lockergesteinsabschnitten besteht generell aus Stahlbögen (HEM-180 Träger, Abstand 1 m) und 25 cm starkem, stahlfaserbewehrtem Spritzbeton.



Bild N: Kernbauweise (Vortrieb Lockergesteinsstrecke Gjuch)

Vortrieb Molassestrecke Eichholz

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

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Vortrieb Molassestrecke Uetliberg

Der Tunnelausbruch erfolgt mit einer Tunnelbohrmaschine (Durchmesser 5.0 m) und einer ihr folgenden Ausweitungstunnelbohrmaschine mit Hinterschneidtechnik. Mit der Ausweitungsmaschine wird der vorgängig gefräste Pilotstollen auf den vollen Querschnitt von 14.20 bis 14.40 m Durchmesser aufgefahren. Die Sicherung, bestehend aus Seilankern, Swellex-Ankern, Netzen und Spritzbeton (Möglichkeit zum Stahleinbau ist vorhanden) wird direkt hinter dem Bohrkopf eingebaut. Unter dem Nachläufer wird die Abdichtung, die Sohle, der Werkleitungskanal (vorfabrizierte Elemente) und die seitliche Hinterfüllung erstellt. Die Verkleidung und die Zwischendecke werden etappiert im rückwärtigen Bereich eingebaut.



Bild O: Anfahren der Pilot-TBM (Durchmesser 5.0 m) in der Tunnelröhre Basel

Bis heute gemachte Erfahrungen mit dem Lockergesteinsvortrieb Diebis

Wie bereits erwähnt, werden die Lockergesteinsstrecken in der Kernbauweise aufgefahren.

Die Aufteilung in die sieben Teilquerschnitte wurde wie folgt gemacht:

①	Beidseitige obere Paramentstollen	2 x 17.35 m ²
②	Beidseitige untere Paramentstollen	2 x 22.55 m ²
③	Kalotte	24.30 m ²
④	Kern	26.66 m ²
⑤	Sohle	<u>16.84 m²</u>
	Total	147.60 m ²

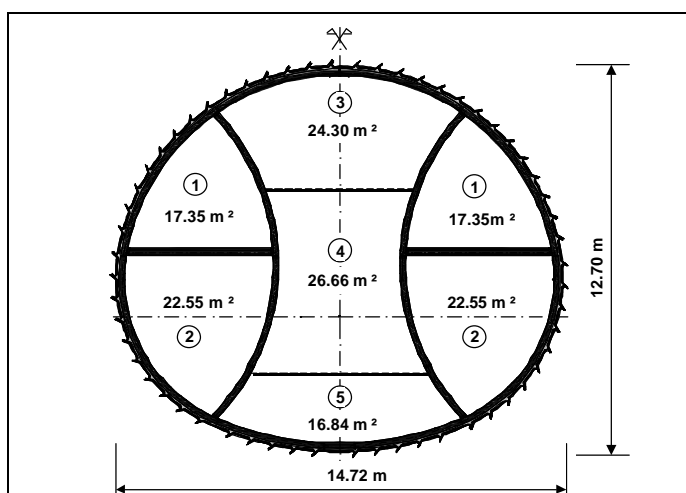


Bild P: Teilquerschnitte der Kernbauweise

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Paramentstollenvortrieb

Die oberen Paramentstollen werden in Meter-Schritten mittels Kleinbagger ausgebrochen und direkt nach dem Ausbruch mit einer ca. 5 cm starken Spritzbetonschicht versiegelt. Im Schutze der Versiegelung wird in Meter-Abständen der Stahleinbau (HEM 180) eingebaut. Aufgrund der raschen Verfügbarkeit und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit wurde für die Versiegelungsschicht ofengetrockneter, vorgefertigter Trockenspritzbeton gewählt. Nach einem weiteren Ausbruch erfolgt das Zuspritzen der Einbauträger mit Stahlfaser-Nassspritzbeton. Infolge Wasseranfall und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit müssen zeitweise zusätzliche Sicherungsmittel wie Spiesse, Netze und Drainagerohre im Firstbereich eingebaut werden.

Kalottenvortrieb

Für den Kalottenvortrieb mit einer Spannweite von ca. 8 m wurde in den Startphasen bei den Lockergesteinsstrecken Diebis und Gjuch ein 20 m langer Rohrschirm, bestehend aus 29 Rohren, mit einem Durchmesser von 152.4 mm erstellt. In der Lockergesteinsstrecke Juchegg werden die ersten 50 m im Schutze eines Rohrschirmes erstellt. Als Bauhilfsmassnahmen im Anschluss an den Rohrschirm wurden folgende Elemente festgelegt:

- Firstsicherung mit Spiesen Durchmesser 30 mm, Länge 4 m
- Brustankerung mit neun 15 m langen Stahl-Selbstbohrankern und einer Überlappung von 3 m
- Zusätzlich bei Wasservorkommen Drainagerohre in der Ortbrust

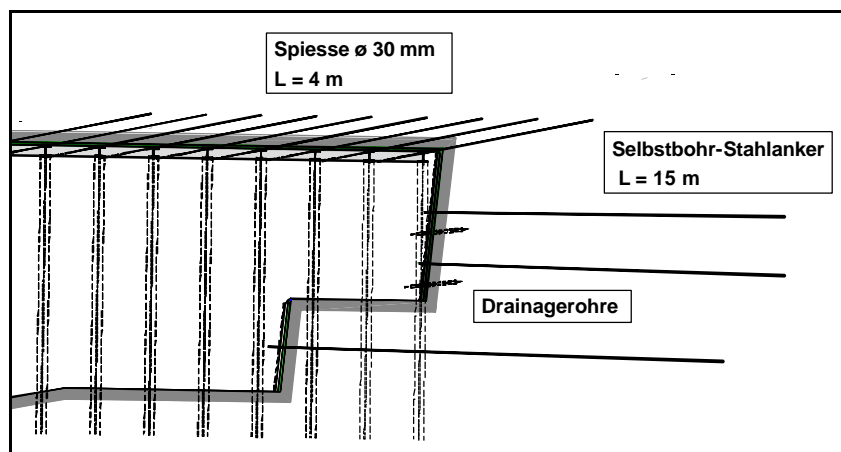


Bild Q: Bauhilfsmassnahmen für den Kalottenvortrieb

Der Ablauf für den Einbau der Sicherungselemente erfolgt analog dem Paramentstollenvortrieb. Die zusätzlichen Massnahmen sind entscheidend für die Arbeitssicherheit und die Reduktion der Deformationen beim Ausbruch der Kalotte.

Abbau des Kerns

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

Sohlausbruch, Ringschluss

Sobald eine Länge von 12 m in der Kalotte ausgebrochen ist, 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 bis 4 m geöffnet, in welchem die Versiegelungsschicht, der Stahleinbau und Stahlfaser-Nassspritzbeton eingebracht wird. Mit die-

sem rücklaufenden Vorgehen muss die Schüttung der Fahrpiste im Sohlbereich nicht laufend vor Kopf über dem frisch gespritzten Nassspritzbeton ausgeführt werden.



Bild R: Kernbauweise, Sohlbruch mit Ringschluss

Bei anfallendem Bergwasser muss darauf geachtet werden, dass das Wasser vor dem Einbringen der Versiegelungsschicht aus dem Sohlbereich entfernt werden kann. Dafür werden zusätzliche Entwässerungsmassnahmen wie Noppenbahnen und Sickergräben sowie Pumpschächte eingebaut.

Resultate der Bauwerksüberwachung während des Vortriebs in der Lockergesteinsstrecke Diebis

Die messtechnische Überwachung der Tunnelvortriebe erfolgt mit verschiedenen Messeinrichtungen wie Piezometer, 3-D-Konvergenzmessungen, Extensometer, Distometer, Profilaufnahmen und Stahldehnungsmessgebern (Strain Gauges).

Deformationsmessungen

Die Verformungen / Bewegungen der Ausbruchsicherung werden mit optischen 3-D-Konvergenzmessungen, Distometermessungen und Profilaufnahmen überwacht. Die Konvergenzmessungen zeigten, dass sich beim Vortrieb des oberen Paramentstollens bei rund 20 m Überlagerung praktisch noch keine messbaren Verformungen einstellten. Beim Ausbruch des unteren Paramentstollens setzten sich die oberen Paramentstollen um rund 2.5 cm. Gleichzeitig konnte mit den Distometermessungen eine horizontale Querschnittsverengung von 1 bis 1.5 cm festgestellt werden. Nach dem Ausbruch der Kalotte wurden Verformungen von bis 1 cm gemessen. Beim Ringschluss wurden dann nochmals rund 3 cm an Verformungen registriert, was zu Gesamtverformungen von ca. 7 cm führte. Die zu verschiedenen Zeitpunkten - vor, respektive nach dem Ringschluss - gemachten Profilaufnahmen zeigten Werte in der gleichen Grössenordnung. Die vorgängig durch den Projektverfasser gerechneten Verformungswerte lagen bei rund 5 bis 10 cm. Der Vergleich mit den effektiv gemessenen Deformationen und der Gesamtverformung haben die Rechenwerte bestätigt.

Ausweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

In der Molassestrecke Uetliberg kommt im Frühjahr 2003 eine Ausweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik zum Einsatz. Der Bohrkopf wird zur Zeit durch die Firma Wirth AG und der Nachläufer durch die ARGE Uetli für den Einsatz vorbereitet. Die einzelnen Elemente dieses Verfahrens haben sich in der Praxis bereits mehrfach bewährt (Aufweitungsmaschinen bei über 14 km Vortriebslänge) oder sind in ausgedehnten Versuchen in Deutschland und Kanada erprobt (Hinterschneidtechnik), aber zusammen noch nie eingesetzt worden.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Ausweitungsmethode

Die Ausweitungsmethode erlaubt das grossflächige mechanische Auffahren des Tunnelquerschnittes mit einer sich den angetroffenen geologischen Verhältnissen anpassbaren, unmittelbaren Felssicherung. Gegenüber der konventionellen Ausweitung ergeben sich infolge des schonenden Ausbruchs und des kreisrunden, statisch günstigen Profils beträchtliche Einsparungen sowohl an den Felssicherungsmitteln wie auch an der Tunnelverkleidung (Überprofilbeton).

Die Ausweitungs-TBE, die am Uetlibergtunnel eingesetzt wird, basiert im wesentlichen auf der Vortriebsinstallation, wie sie bereits im Tunnel de Paracuellos (Spanien) und beim Tunnel de Sauges (Schweiz) erfolgreich eingesetzt wurde. Da die vom Unternehmer offerierte TBE-Variante auf der vorhandenen und erprobten Vortriebsinstallation aufbaut, können die Installationskosten für die Bereitstellung einer Tunnelbohrmaschine in dieser Grössenordnung in einem vergleichsweise niedrigen Rahmen gehalten werden.

Hinterschneidtechnik

In enger Zusammenarbeit hat die ARGE Uetli mit dem Hersteller der Ausweitungsmaschine die technischen Möglichkeiten für den Einsatz der Erweiterungsmaschine mit einer neuen Schneidmethode, dem Hinterschneiden, evaluiert.

Die Hinterschneidtechnik ist seit Beginn der Bohrtechnik mit Tunnelbohrmaschinen als wirkungsvolles Schneidprinzip bekannt. Bei diesem Verfahren arbeiten die Schneidrollen gegen die im Vergleich zur Druckfestigkeit wesentlich geringere Zugfestigkeit des Gesteins.

Arbeitsprinzip der Hinterschneidtechnik mit TBE

Der Bohrkopf der Erweiterungsmaschine besteht wie bisher aus einem zweigeteilten Bohrkopfgrundkörper sowie sechs Bohrr Armen. Der Bohrkopf dreht sich auf der im Pilotstollen und im grossen Tunnelquerschnitt verspannten und gelagerten Innenkelly. Die Schneidrollen sind sowohl axial wie auch radial zur Tunnelachse versetzt und auf radial verschiebbaren Schlitten auf den Bohrr Armen angeordnet. Beim Drehen des Bohrkopfs und gleichzeitigem radialem Verschieben der Schlitten beschreibt jede Rolle eine spiralförmige Bahn um die Tunnelachse.

Durch das Voreilen der jeweils äusseren Rolle entsteht eine treppenförmige Ortbrust, so dass jede Schneidrolle das Gebirge gegen eine freie Fläche (Hinterschneidprinzip) abschert. Beim Bohrbeginn eines sogenannten "Abschlags" (axiale Abbaustrecke pro Radialhub der Schlitten) starten z.B. die inneren Schneidrollen in der Pilotbohrung und die weiter aussen angeordneten Rollen in der zuletzt gebohrten Stufe der inneren Rolle.

Die Länge des Abschlags ist maximal auf den axialen Versatz der Schneidrollen auf einem Schlitten begrenzt ($SA = 200 \text{ mm}$). Kleinere Abschläge können in Abhängigkeit von der Gebirgsfestigkeit gewählt werden.

Beim Drehen des sechsarmigen Bohrkopfs mit jeweils sechs Schneidrollen pro Arm werden gleichzeitig 36 Schneidrollen auf sechs um 60° versetzten Spiralspuren von einem inneren auf einen äusseren Bohrdurchmesser verschoben ($p \times z_A$).

Nach Erreichen des Nenn-Bohrdurchmessers (14.00 m) werden die Schlitten wieder radial auf den kleinsten Durchmesser (4.50 m) zurückgezogen. Anschliessend wird der Bohrkopf axial um einen Abschlag (z.B. $SA \text{ max. } 200 \text{ mm}$) verschoben und der nächste Schritt beginnt.

Da die Schubkräfte der Meissel im Gegensatz zum herkömmlichen Schneidverfahren in radialer Richtung aufgebracht werden, heben sich die Kraftkomponenten des Vorschubs durch die diametral entgegengesetzte Anordnung der Bohrr Arme auf. Durch die kleine Zahl der Schneidrollen (sechs pro Bohrr Arm) mit einem Andruck von ca. 100-120 kN/Cutter reduziert sich das erforderliche Drehmoment am Bohrkopf für das Lösen des Gebirges ebenfalls beträchtlich. Der Wegfall der grossen Andruckkräfte (Vorschub) und der damit hohen Drehmo-

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

mentbelastungen der Tunnelbohrmaschine erlaubt die Vergrößerung des Bohrkopfs bei einer bestehenden TBM.

Mit der TBE 500/1440 H/HAST können Strecken, Stollen und Tunnels mit einer Pilotbohrung von 4.70-5.00 m Durchmesser in standfestem, bohrbarem Gebirge auf Durchmesser von 14.00/14.40 m erweitert werden.

Der nachfolgend beschriebene Bohrkopf ist zum Erweitern von 4.70 m auf 14.40 m Durchmesser nach dem Hinterschneidverfahren konzipiert.

Bohrkopf

Ein Erweiterungsbohrkopf, ausgelegt für Bohrdurchmesser 14.00/14.40 m bei 4.70 m Pilotdurchmesser, besteht aus dem Bohrkopf-Grundkörper, der aus Transportgründen aus zwei Teilen besteht und sechs angeschraubten Erweiterungsarmen. Auf jedem der Erweiterungsarme ist ein radial verschiebbarer Schlitten mit je sechs Schneidrollen montiert. Die Schneidrollenhalter für Einringdisken sind treppenförmig versetzt angeordnet, so dass eine maximale, axiale Abschlagslänge beim Hinterschneiden von 200 mm möglich ist.

In den Schneidrollenhaltern eingeschraubte Einsatzstücke dienen zur Aufnahme der Schneidrollen und können bei Beschädigung schnell ausgetauscht werden.

Die Schiebeschlitten sind auf Gleitflächen geführt, wodurch der Bohrdurchmesser zwischen 14.00 m und 14.40 m stufenlos eingestellt werden kann.

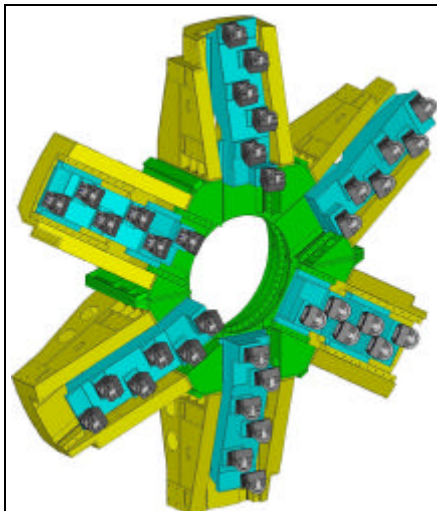


Bild S: Bohrkopf-Grundkörper

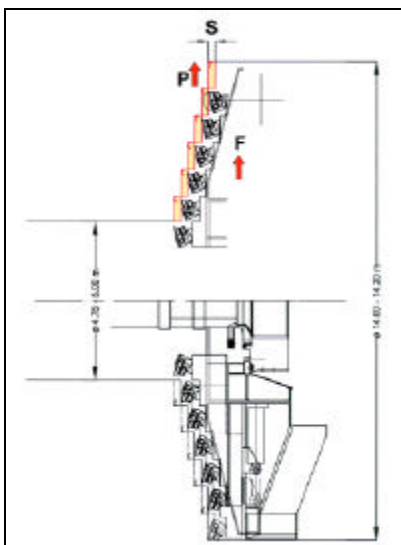


Bild T: Längsschnitt Bohrkopf und Kraftfluss

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

Vorteile der Kombination TBE mit Hinterschneidtechnik

Mit dem Hinterschneidprinzip resultieren geringere Kräfte auf die TBM (Hauptlager, Innenkelly). Somit stand dem Einsatz / Umbau einer bereits vorhandenen Maschine nichts im Wege. Weitere Vorteile der von der ARGE gewählten Vortriebseinrichtung sind:

- Geringerer Energieaufwand für Ausbruch
- Kurze Bohrkopfkonstruktion, da Wegfall der Vorschubkräfte in Tunnelrichtung, dadurch Felssicherung nahe an Ortbrust möglich
- Lokaler Überschneid des Kreisprofils möglich
- Einsparungen Massen durch optimale Anpassung des Ausbruchs; Felssicherung bei Maschinenstillstand zwischen den Bohrräumen möglich
- Geringere Staubentwicklung durch geringere Zerstörung des Bohrgutes
- Schonender Gebirgsausbruch im Bereich Brust / Pilotstollen, da keine Belastung des Gebirges parallel zum Pilotstollen

Nachteile gegenüber einer konventionellen Schild-TBM

- Konventionelle Sicherung bestimmt Vortriebsleistung (Felsklassen)
- Materialstückigkeit abhängig von den vorhandenen Schichtpaketen
- Bohrwerkzeugwechsel vor Bohrkopf
- Sicherheit durch Schild im L1 nicht vorhanden

Beschreibung der Tunnelausweitungsmaschine

Die Grundmaschine der Tunnelbohrerweiterungsmaschine TBE 450/1440 besteht aus folgenden Baugruppen:

- Bohrkopf mit Bohrgutschaufeln und Kratzern
- Innenkelly mit Bohrkopflagerung und Antrieb
- Aussenkelly mit Verspannung
- Maschinen- und Bohrkopfabstützung
- Nachläufer, Antriebsaggregate, Hydrauliktank, Steuerhydraulik mit Tank, elektrische Schaltanlage und Steuerstand

Technische Daten der TBE 450/1440

Bohrkopf

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| - Diameter, nom. | Dn = 14.00/14.40 m |
| - Bohrkopfantrieb | 10 x 250 = 2'500 kW |
| - Drehmoment, nom. | 4'800 kNm |
| - Drehzahl Bohrkopf | 0 – 3.7 rpm. |
| - Drehmoment, max. bei n = 2.8 rpm. | 6'430 kNm |

Schneidrollen

- | | |
|------------|-----------------------|
| - Ortbrust | 36 Stück ED/H LKG – 3 |
|------------|-----------------------|

Vorschub

- | | |
|----------------------------|------------|
| - Andruck Bohrkopf | 15'000 kN |
| - Bohrhub | 1'500 mm |
| - Vortriebsgeschwindigkeit | 0 – 4 m/h |
| - Vorschubzylinder | 4 Stück |
| - Zylinderdurchmesser | 400/300 mm |
| - Hydraulikdruck | 300 bar |

Verspannung

- | | |
|-----------------------|------------|
| - Verspannkraft | 42'500 kN |
| - Verspannplatten | 12 Stück |
| - Zylinder | 24 Stück |
| - Zylinderdurchmesser | 275/200 mm |
| - Max. Hydraulikdruck | 300 bar |

Förderband

- Bandbreite 1'200 mm

Elektrische Ausrüstung

- Installierte elektr. Leistung 2'800 kW
- Transformere 4'000 kVA
- Eingangsspannung 10'000 V / 50 Hz
- Motorspannung 660 V / 50Hz

Gewicht TBE und Nachläufer

ca. 1'000 T

Montagen und Ummontagen

Die Pilot-TBM sowie die TBE werden vor dem Portal in der Baugrube Landikon teilweise vormontiert und dann zur Startkaverne der Röhre Basel transportiert, wo die Endmontage erfolgt. Nach dem Auffahren der Röhre Basel werden die TBM sowie die TBE in der Demontagekammer demontiert und durch den Tunnel zurücktransportiert. Für das Auffahren der Röhre Chur werden sie dann in der dafür vorbereiteten zweiten Startkaverne wieder montiert.



Bild U: Montage Pilot-TBM

Stand der Arbeiten bei Redaktionsschluss**Lockergesteinsstrecke Diebis**

Die Ausbrucharbeiten der Lockergesteinsstrecke Diebis sind abgeschlossen. Die Montagekavernen für die TBE sowie die Startröhren für die Pilot-TBM sind in beiden Röhren erstellt. Mit dem Innenausbau (Vollabdichtung, Sohlenbeton, Werkleitungskanal und seitliche Hinterfüllung) wird im August 2002 begonnen.

Molassestrecke Uetli

Der Pilotstollen für die anschliessende Aufweitung mit der TBE wurde bereits bis Tm 670 aufgefahren. Der Vortrieb läuft zur Zeit mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von ca. 25 m. Der Durchschlag mit dem entgegenseitigen Lüftungsstollen wird auf Ende 2002 veranschlagt.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH



Bild V: Vortrieb Pilotstollen

Lockergesteinsstrecke Juchegg (Vortrieb von Seite Zürich)

Im Februar 2002 wurde mit dem Vortrieb der Lockergesteinsstrecke Juchegg begonnen. In der Röhre Basel sind die Kalotte und die unteren Paramentstollen auf einer Länge von 50 m ausgebrochen. Der Vortrieb des Lüftungsstollens (oberer rechter Paramentstollen) befindet sich bei ca. Tm 230. Der Vortrieb im oberen linken Paramentstollen befindet sich bei Tm 180. Der Lüftungsstollen läuft zur Zeit dem TBM-Vortrieb entgegen. In der Röhre Chur sind bereits 50 m Tunnel im vollen Querschnitt aufgefahren.

Lockergesteinsstrecke Gjuch (Vortrieb von Seite Wettswil)

Der Vortrieb der Lockergesteinsstrecke Gjuch wurde in beiden Röhren im April 2002 in Angriff genommen. In der Röhre Basel sind 80 m und in der Röhre Chur 20 m im vollen Querschnitt aufgefahren.

Abluftschacht Eichholz

Die Abteufung des Abluftschachtes ist im Bereich des Lockergesteins (22.80 m) abgeschlossen. Ab August 2002 erfolgt der sprengtechnische Ausbruch (37.80 m) im Schacht.

Otto Schnell	Dipl. Bauingenieur HTL, Baudirektion des Kantons Zürich, Tiefbauamt, Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH
Daniel Marti	Dipl. Bauingenieur ETH / Wirtschaftsingenieur FH, Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau/Projektleiter Uetlibergtunnel Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Stefan Maurhofer	Dipl. Bauingenieur FH, Chefbauleiter, Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH
Josef Bolliger	Dipl. Bauingenieur HTL, Projektleiter, ARGE Uetli, Stallikon/CH

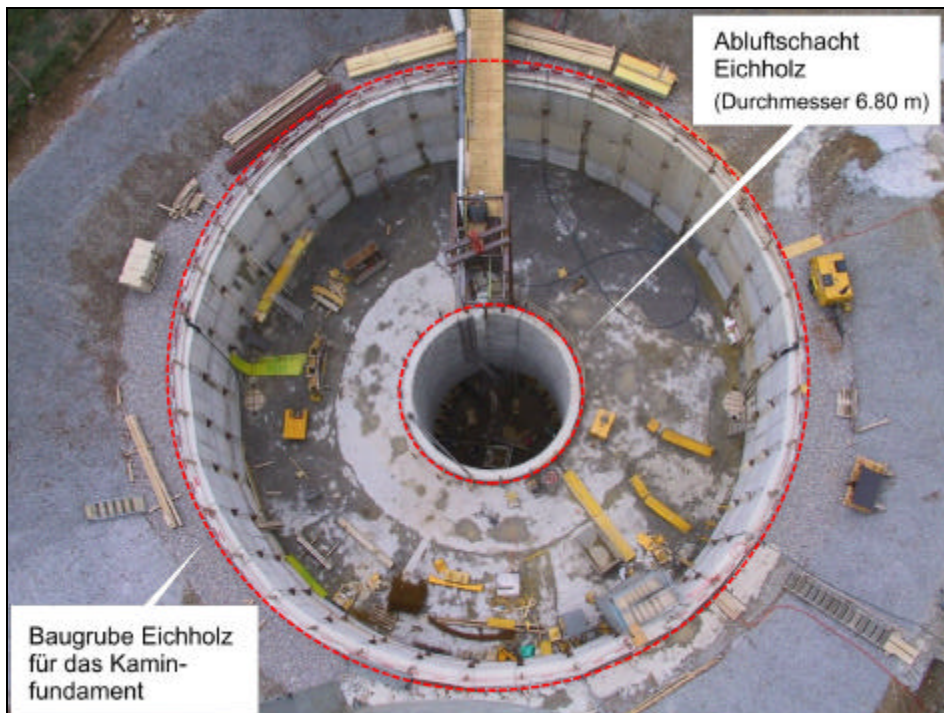


Bild W: Vortriebsarbeiten Abluftschacht

Weitere Informationen unter:

www.westumfahrung.ch (Bauherrschaft)

www.uetlibergtunnel.ch (Projektverfasser)

www.arge-uetli.ch (Bauunternehmer)

Daniel Marti

Dipl. Bauingenieur ETH
Wirtschaftsingenieur FH
Stv. Leiter Geschäftsbereich Neubau

dmarti@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

Am Bau Beteiligte**Bauherrschaft**

Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt,
Abt. National- und Hauptstrassen, Zürich/CH

Projekt- und Bauleitung

Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt/CH

Ausführung

Arbeitsgemeinschaft Uetli
Zschoke Locher AG
Murrer AG
Prader AG Tunnelbau
CSC Bauunternehmung AG
Wayss und Freytag AG
Alpine Mayreder Bau GmbH
ZüblinSchlittlerSpaltenstein BauAG