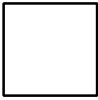


Baustelle Uetlibergtunnel, Landikon

Ausweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

Vortrag Josef Bolliger



Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Organisation der Arbeitsgemeinschaft.....	3
1.1. Vorstellung der Arbeitsgemeinschaft.....	3
1.2. Baustellenorganisation.....	4
1.3. Qualitätssicherungskonzept.....	4
2. Studierte Lösungen.....	5
2.1. Lockergestein.....	5
2.2. Felsstrecken.....	5
3. Gewählte Lösungen.....	6
3.1. Lockergestein.....	6
3.2. Felsstrecken.....	6
4. Ausweitungsverfahren mit TBE.....	6
4.1. Gründe zum Angebot Ausweitungsverfahren mit TBE.....	6
4.2. Hauptmerkmale Variante TBE.....	6
5. Pilotstollen.....	7
5.1. TBM für Pilotstollen.....	7
5.2. Sicherung Pilotstollen.....	9
6. Ausweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik.....	9
6.1. Ausweitungsmethode.....	9
6.2. Tunnelausweitungsmaschine.....	10
6.3. Hinterschneidtechnik.....	11
6.4. Arbeitsprinzip der Hinterschneidtechnik mit TBE.....	13
6.5. Bohrkopf.....	14
7. Sicherung.....	18
7.1. Nachlaufsystem.....	18
7.2. Anker.....	18
8. Ausblick.....	20



1. Organisation der Arbeitsgemeinschaft

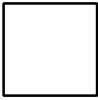
1.1. Vorstellung der Arbeitsgemeinschaft

Für die Offertstellung und Ausführung des Bauloses Uetlibergtunnel haben sich nachstehende Firmen zusammengeschlossen:



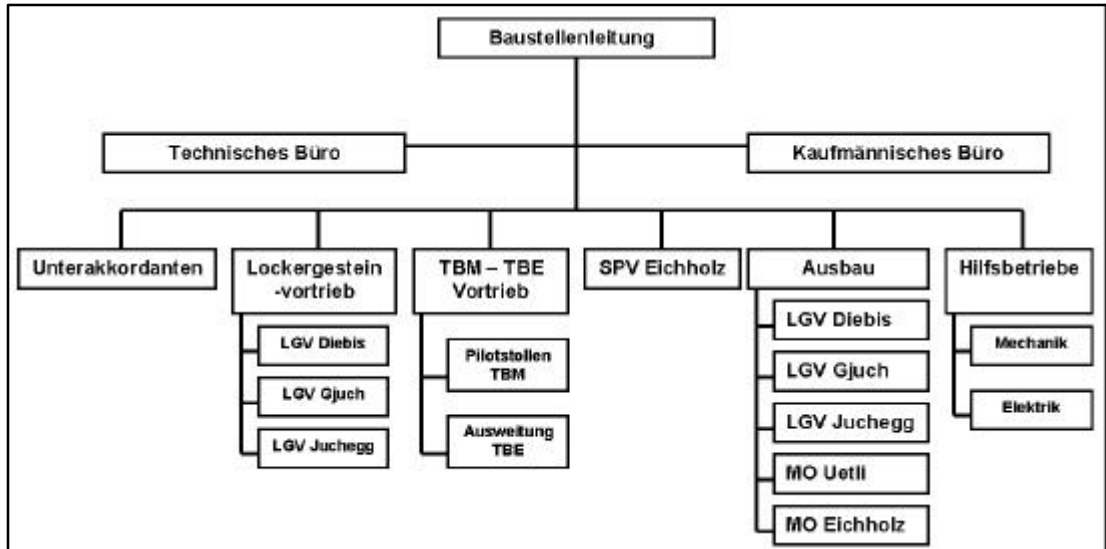
 ZSCHOKKE LOCHER Zschokke Locher AG Zürich	Arbeitsgemeinschaft Uetlibergtunnel			 MURER Murer AG Erstfeld
 Prader Prader AG Tunnelbau Zürich	 CSC CSC Impresa Costruzioni SA Zürich	 w&f ingenieurbau Ways & Freitag Ingenieurbau AG München / Rankfurt	 ALPINE MAYREDER Alpine-Mayreder Bau GmbH Salzburg-Wals	 Spaltenstein HOCH+TIEFBAU AG Spaltenstein Hoch+Tiefbau AG Zürich

Federführung: Zschokke Locher AG, Zürich
Technische Leitung: Zschokke Locher AG, Zürich
Murer AG, Erstfeld
Kaufmännische Leitung: Prader AG, Tunnelbau, Zürich



1.2. Baustellenorganisation

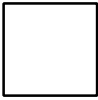
- Sitz der ARGE in Stallikon
- Aussenbaustellen
 - Gänziloo
 - Wannenboden
 - Eichholz



1.3. Qualitätssicherungskonzept

Die an der Arbeitsgemeinschaft beteiligten Firmen verfügen über ein Zertifikat nach SN-EN 9001 bzw. 9002.

Das PQM basiert auf dem unternehmensbezogenen Qualitätssicherungssystem (UQM) der federführenden Firma Zschokke Locher AG.



Installationsplatz Landikon, Flugaufnahme

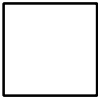
2. **Studierte Lösungen**

2.1. **Lockergestein**

- Kernbauweise gemäss Ausschreibung
- A.DE.CO-RS Methode
(Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli)
- Messerschildevortrieb
- Kalottenvortrieb

2.2. **Felsstrecken**

- Sprengvortrieb
- Pilotstollen und Ausweitung mit Sprengvortrieb
- Pilotstollen und Ausweitung mit Teilschnittmaschine
- Schild TBM
- Pilotstollen und Erweiterung mit TBE



3. Gewählte Lösungen

3.1. Lockergestein

- Lockergesteinsstrecken Gjuch, Diebis und Juchegg gemäss Ausschreibungsprojekt in der Kernbauweise

3.2. Felsstrecken

- Felsstrecke Eichholz im Sprengvortrieb
- Felsstrecke Uetliberg mit Ausweitungs-TBE

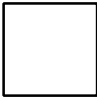
4. Ausweitungsverfahren mit TBE

4.1. Gründe zum Angebot Ausweitungsverfahren mit TBE

- Schild TBM ausgeschlossen
- Gemäss geologischem Bericht mechanischer Vortrieb möglich
- Projekt mit Ausbruch Kalotte auf volle Breite sowie Felssicherung mit Ankern, Netzen und Spritzbeton
- Projekt mit Pilotstollen
- Rascher Ringschluss erforderlich
- Problem bei TSM und SPV
- Sohlgewölbe mit Abdichtung, technischem Kanalelement, Auffüllung etc.
- Methode TSM oder SPV durch parallele Vortriebe mit grossem Installationsaufwand
- Erfahrung in der ARGE mit mechanischem Erweiterungssystem vorhanden
- Ausrüstung verfügbar

4.2. Hauptmerkmale Variante TBE

- Pilotstollen \varnothing 5.00 m
- Mechanisches Ausweiten des Pilotstollens auf den Endquerschnitt mit Einsatz des Hinterschneidverfahrens (bestehende TBE mit neuem Bohrkopf)
- Einbau Felssicherung im Nachläuferbereich
- Ausbau der Sohle im Nachläuferbereich
- Ventilation resp. Entstaubung über Pilotstollen



5. Pilotstollen

5.1. TBM für Pilotstollen

Für den Pilotstollen kommt eine Gripper-TBM mit \varnothing 5.00 m zum Einsatz, Typ Wirth, TB III 500E

Hersteller Wirth

Maschinentyp TB III 500 E „Piora“

Baujahr 1986/1993

Bohrkopf

- Nenndurchmesser D_n 5010 mm
- Bohrdurchmesser D_b 5000 mm
- Antriebsleistung (By-Pass) 4 x 320 kW = 1280 kW
- Drehmoment bei Nennleistung (By-Pass) 1295 kNm
- Drehmoment bei Anlauf 1210 kNm
- Drehzahl Frequenzsteuerung 0-11.2 rpm.

Bestückung

- Zentrum 6 416 mm
- Face 33 416/490 mm
- Kaliber 3 416 mm

Vorschub

- Vorschubkraft 9000 kN
- Bohrhub 1500 mm
- Geschwindigkeit 0 – 5 m/h
- Zylinder 4 Stück
- Zylinderdurchmesser 360/180 mm
- Hydraulikdruck 300 bar

Verspannung

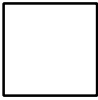
- Spannkraft 22000 kN
- Spanschilder 12 Stück
- Flächenpressung bei max. Spannkraft 3.5 Mpa
- Zylinder 24 Stück
- Zylinderdurchmesser 200 mm
- Hydraulikdruck 300 bar

Förderbänder

- Gurtbreite 650 mm

Elektrische Ausrüstung

- Installierte Gesamtleistung 1500 kW
- Trafo-Leistung 1800/400 kVA
- Oberspannung 6000 V/50Hz
- Motorspannung 660 V/50Hz
- Max. Anlaufstrom bei 380 V 3000 A

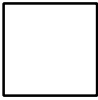


Pilotmaschine Wirth TB III 500 E



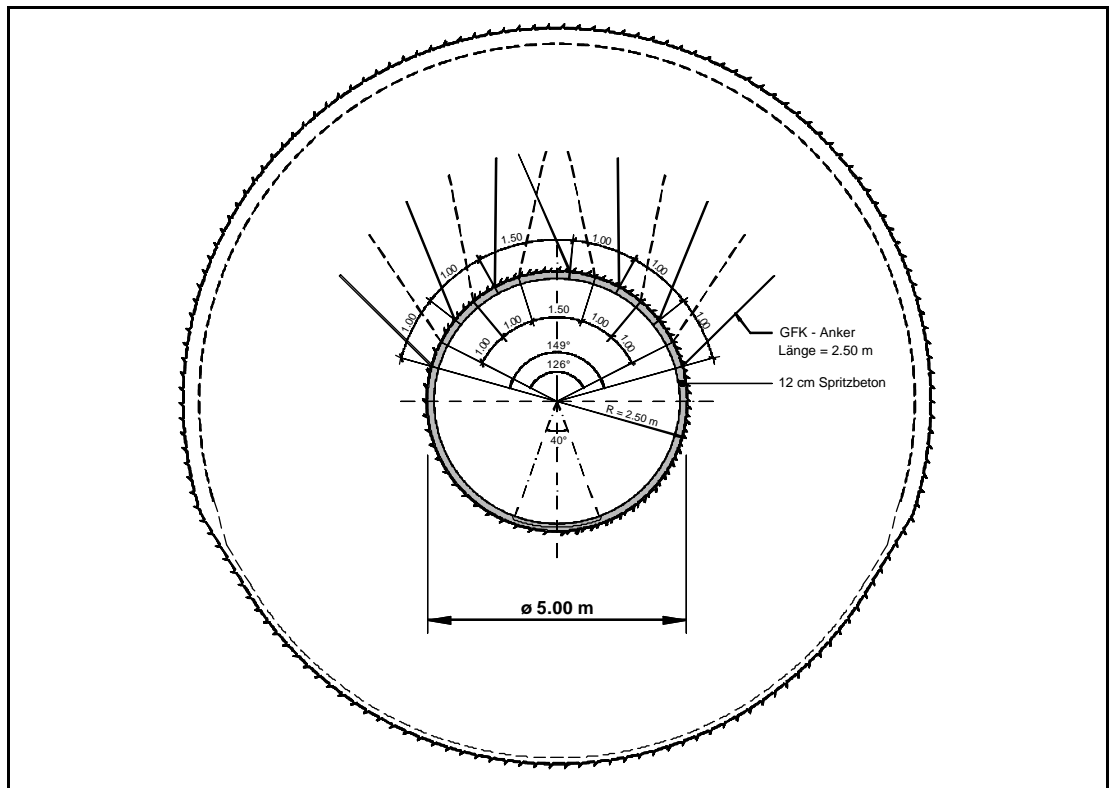
Ankerbohrgerät L2

- Der Pilotstollen ist nötig, da sich die TBE im Pilotstollen verspannt
- Die Ventilation erfolgt durch den Pilotstollen
- Erkundung des Gebirges
- Gebirgsverbesserung vor dem Auffahren mit der TBM möglich



5.2. Sicherung Pilotstollen

GFK-Anker und Spritzbeton mit Stahlfasern



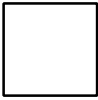
Normalprofil Pilotstollen

6. Ausweitungs-TBE mit Hinterschneidtechnik

6.1. 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 dem kreisrunden statisch günstigen Profil beträchtliche Einsparungen sowohl an den Felssicherungsmitteln wie auch an der Tunnelverkleidung (Überprofilbeton).

Die Variante Ausweitung basiert im wesentlichen auf der Vortriebsinstallation, wie sie bereits im Tunnel de Paracuellos und beim Tunnel de Sauges erfolgreich eingesetzt wurde. Da die 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.

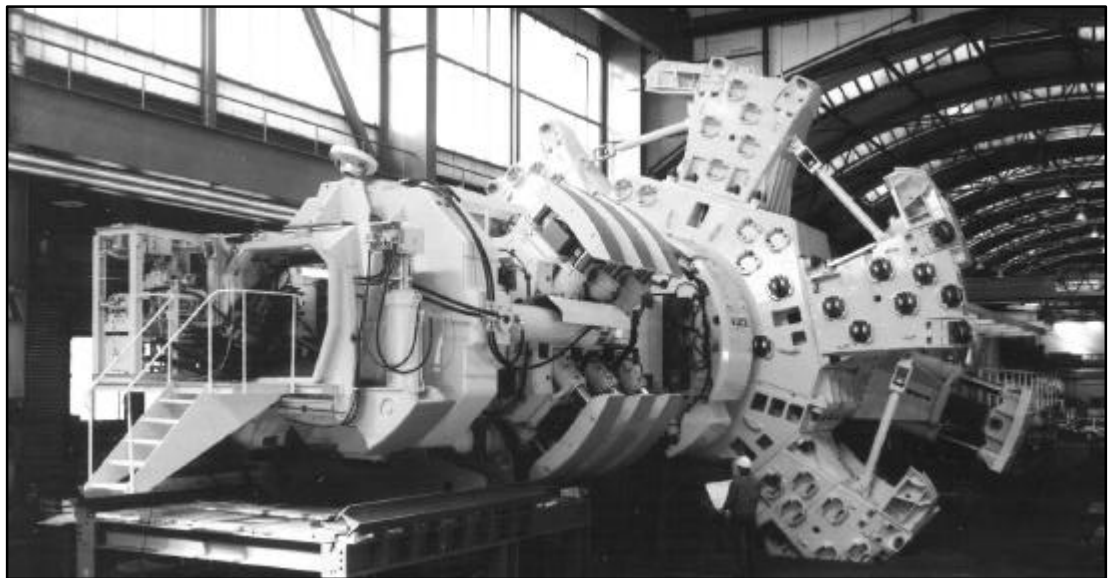


6.2. Tunnelausweitungsmaschine

Beschreibung der Grundmaschine

Die TBE 450/1420 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



TBE ex.Sauges

Technische Daten TBE 470/1420/1440 H

Bohrkopf

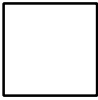
- | | |
|-------------------------------------|--------------------|
| - Diameter, nom. | Dn = 14.00/14.40 m |
| - Bohrkopftrieb | 10 x 250 = 2500 kW |
| - Drehmoment, nom. | 4800 kNm |
| - Drehzahl Bohrkopf | 0 – 3.7 rpm. |
| - Drehmoment, max. bei n = 2.8 rpm. | 6430 kNm |

Schneidrollen

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

Vorschub

- | | |
|----------------------------|------------|
| - Andruck Bohrkopf | 15000 kN |
| - Bohrhub | 1500 mm |
| - Vortriebsgeschwindigkeit | 0 – 4 m/h |
| - Vorschubzylinder | 4 Stück |
| - Zylinderdurchmesser | 400/300 mm |
| - Hydraulikdruck | 300 bar |



Verspannung

- Verspannkraft	42500 kN
- Verspannplatten	12 Stück
- Zylinder	24 Stück
- Zylinderdurchmesser	275/200 mm
- Max. Hydraulikdruck	300 bar

Förderband

- Bandbreite	1200 mm
--------------	---------

Elektrische Ausrüstung

- Installierte elektr. Leistung	2800 kW
- Transformator	4000 kVA
- Eingangsspannung	10000 V / 50 Hz
- Motorspannung	660 V / 50Hz

Gewicht TBE und Nachläufer

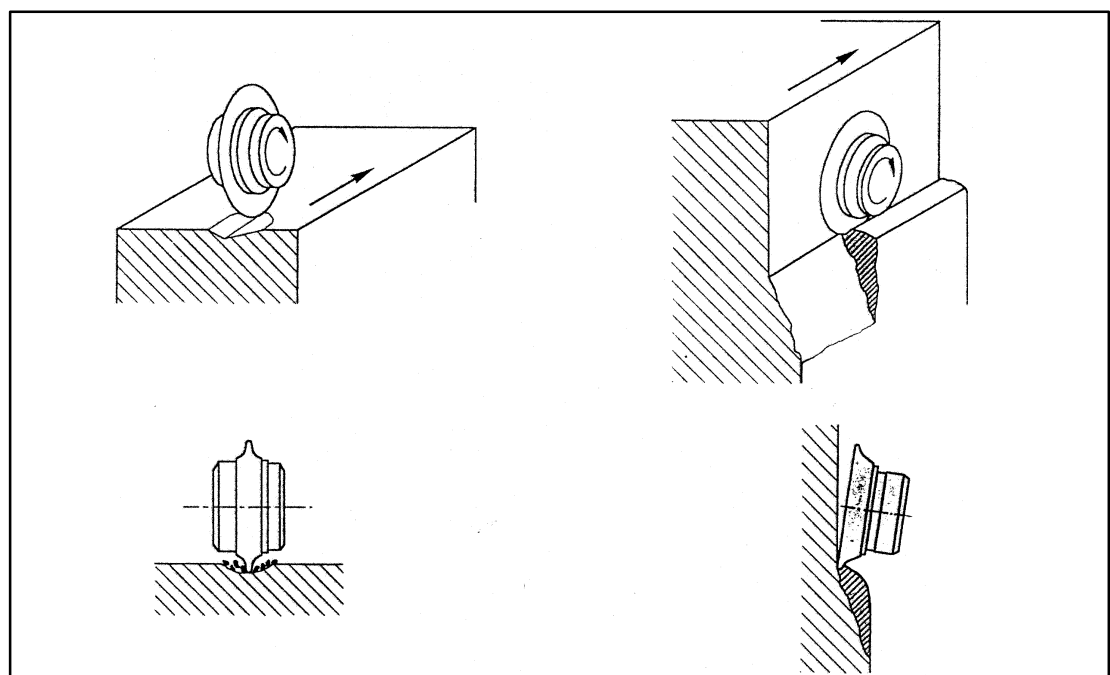
ca. 1000 T

6.3. Hinterschneidtechnik

In enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Ausweitungsmaschine (Firma Wirth) wurden 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.

Gesteinszerstörung durch Diskenrollen:



Konventionell

Hinterschneidend

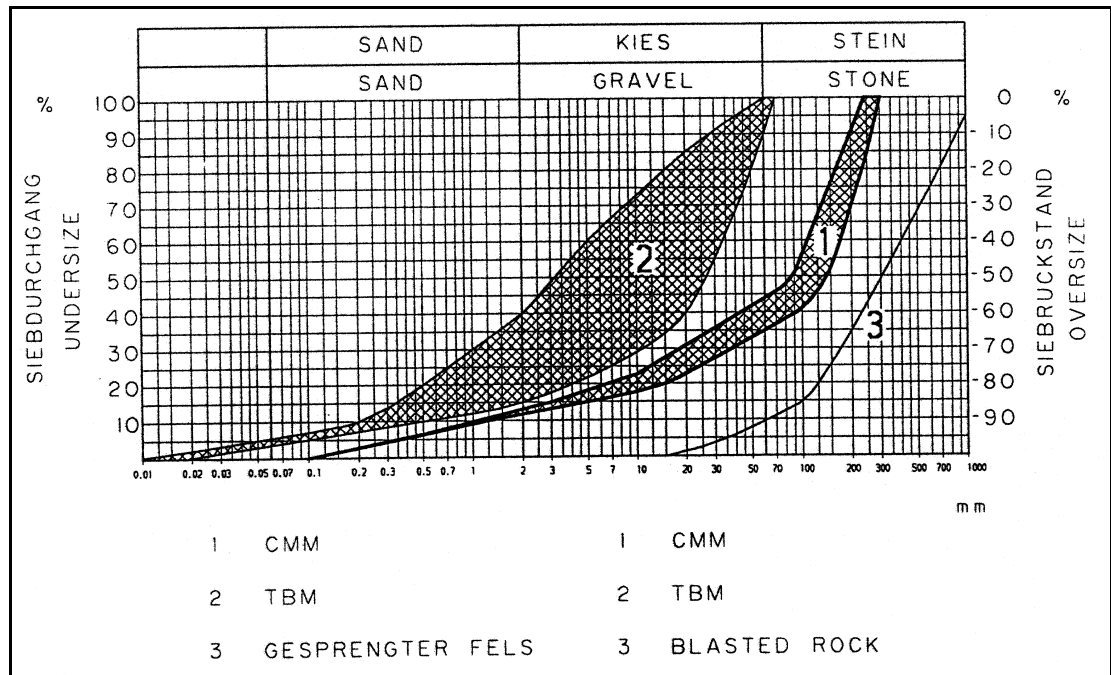


Verschiedene Firmen haben in der Vergangenheit das Hinterschneidprinzip erprobt. Zu erwähnen ist dabei die DMT (Deutsche Montan Technologie für Rohstoff, Energie und Umwelt) sowie die Continuous Mining Machine (CMM), die von Wirth in Zusammenarbeit mit der HDRK Mining Research Ltd., Canada gebaut und betrieben wurde.

Die theoretischen Überlegungen zum Schneidprinzip konnten dabei in der Praxis nachvollzogen werden.

Im Vergleich zu herkömmlichen Vortriebsmethoden lässt sich folgender Leistungsvergleich für das Auffahren des Uetlibergtunnels ermitteln:

Vortriebsmethode		TSM	TBE	TBE mit HS
Geologie	SD=40 MPa SZ=3.5 MPa AM=60%			
Durchmesser Pilotstollen	D m	5.00	5.00	5.00
Durchmesser NP	D m	13 x 14.80 m	14.20m	14.00 resp. 14.20 m
Ausbruchquerschnitt	A m ²	ca. 130	ca. 135	ca. 135
Anzahl Schneidrollen	Z _R	44	68	36
Andruck / Rolle	F _C kN	120	110	110
Spacing / Schneidtiefe	S mm	500-1200	80	150 (100-200)
Penetration	P mm		12	12
Bohrkopfdrehzahl	N min ⁻¹	39.50 / 19.50	2.30	3.65-3.24
Bohrkopfdrehmoment	M _d kNm	80 / 126	6430	4000
Nettovortrieb	V m/h	0.92	1.60	2.20
Install. Leistung	N kW	3 x 300	2500	1800
Ausbruchleistung	Q m ³ /h	3 x 40 = 120	236	305
Spez. Energieverbrauch	E kWh/ m ³	7.50	8.90	5.90
Werkzeugkosten		100%	100%	100%



Sieblinien

6.4. Arbeitsprinzip der Hinterschneidtechnik mit TBE

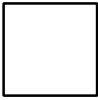
Der Bohrkopf der Erweiterungsmaschine besteht wie bisher aus einem zweiseitigen Bohrkopfgrundkörper sowie sechs Bohrarmen. Der Bohrkopf dreht sich auf der im Pilotstollen und im grossen Tunnelquerschnitt verspannten und gelagerten Innenkelly. Die Schneidrollen sind sowohl axial wie auch radial zur Tunnelachse versetzt, auf radial verschiebbaren Schlitten auf den Bohrarmen angeordnet. Beim Drehen des Bohrkopfs und gleichzeitigen radialen 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 max. 200 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 Bohrarme auf. Durch die kleine Zahl der Schneidrollen (sechs pro Bohrarm) 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 Drehmomentbelastungen der Tunnelbohrmaschine erlaubt die Vergrösserung des Bohrkopfs bei einer bestehenden TBM.

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

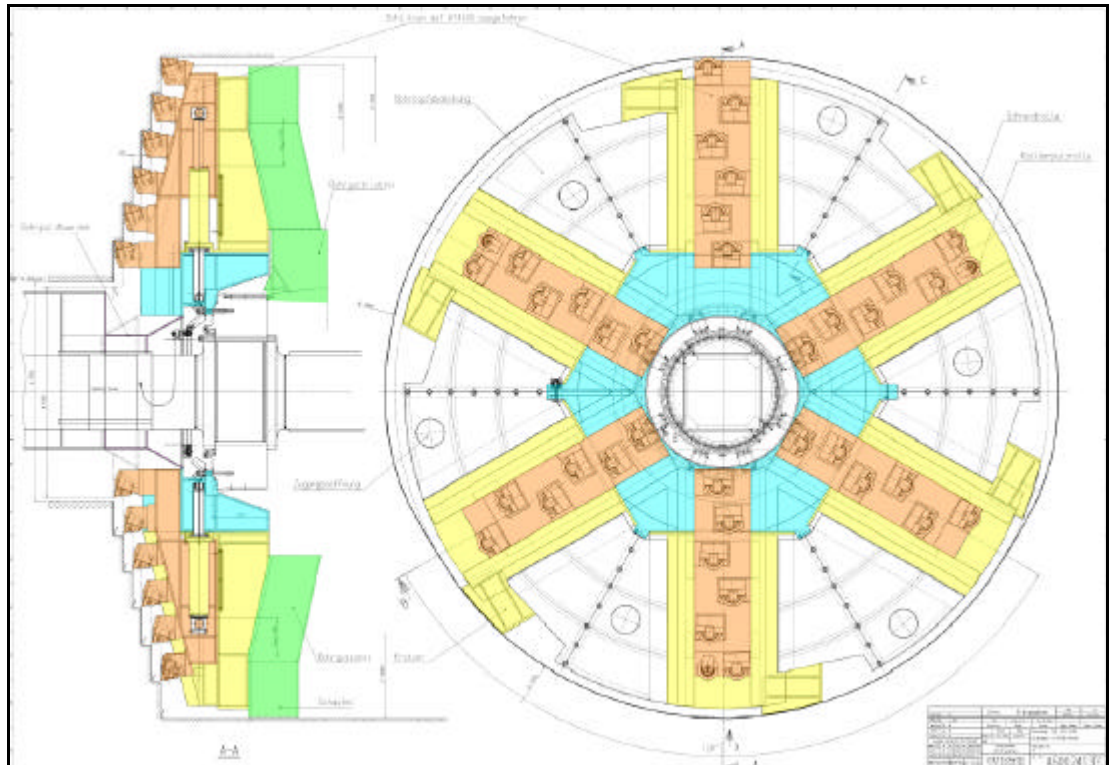
Der nachfolgend beschriebene Bohrkopf ist zum Erweitern von 4.70 m auf 14.40 m Durchmesser nach dem Hinterschneidverfahren konzipiert.

6.5. 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.

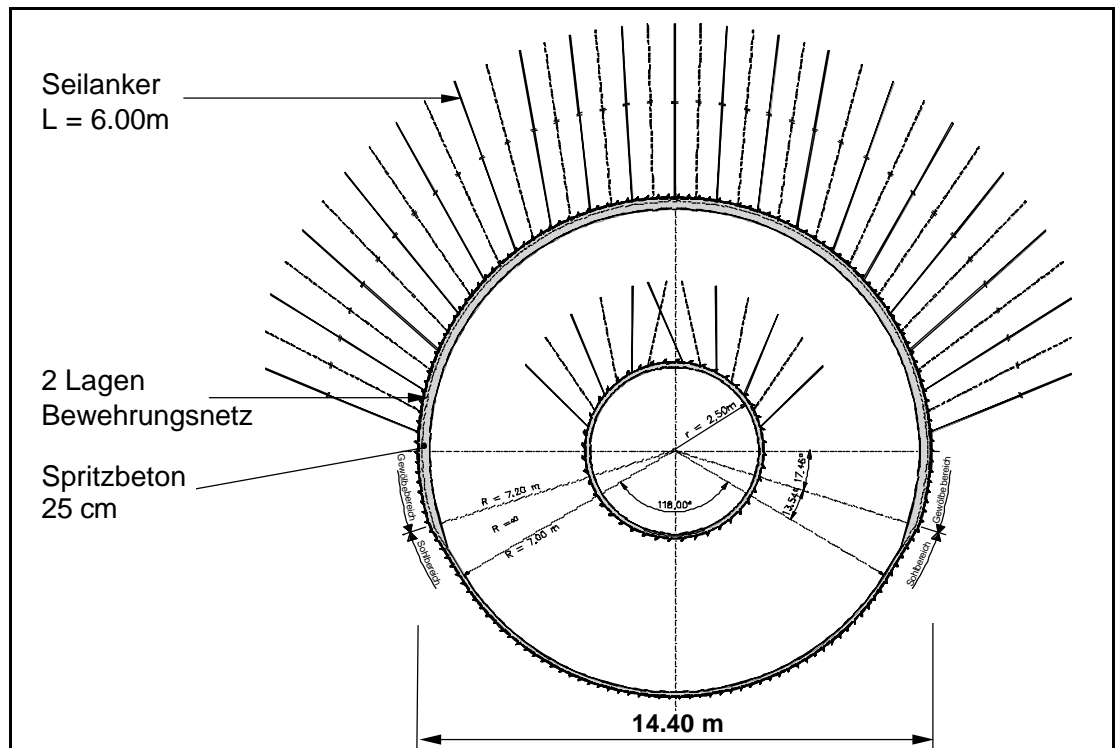
In den Schneidrollenhalter eingeschraubte Einsatzstücke dienen zur Aufnahme der Schneidrollen und können bei Beschädigung schnell ausgetauscht werden.

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

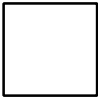


Variation Bohrdurchmesser

Durch gezieltes, radiales Ausfahren der Schlitten über den Nenn-Bohrdurchmesser von 14.00 m hinaus kann der Bohrkopfdurchmesser bis zu 200 mm im Radius selektiv zu einer nicht kreisförmigen Kontur erweitert werden.



Normalprofil



Vorteile Kombination TBE/HS

Hinterschneidprinzip

- Geringere Kräfte auf TBM (Hauptlager, Innerkelly) und somit Einsatz vorhandener Maschinen ideal
- 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

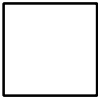
Nachteile gegenüber Schild TBM

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

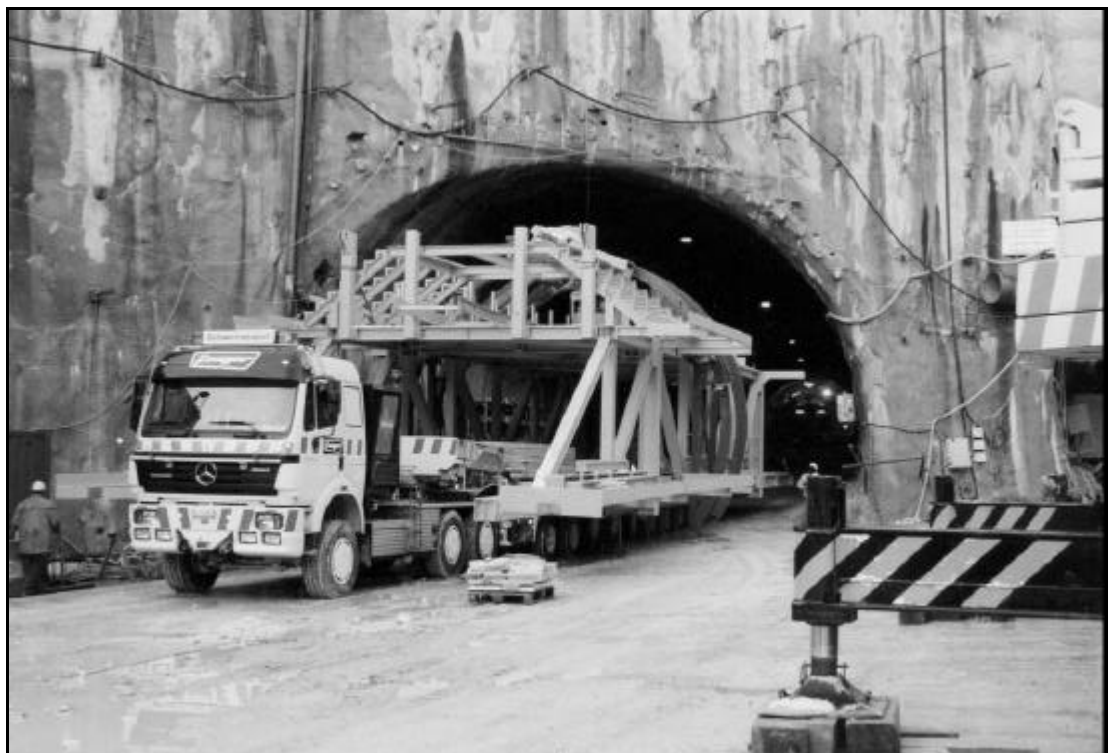
Montagen und Ummontagen

Die Pilot-TBM sowie die TBE werden vor dem Portal Basel teilweise vormontiert und dann zur Startkaverne transportiert und in der Kaverne fertig montiert.

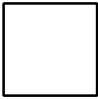
Nach dem Auffahren der Röhre Basel werden die TBM sowie die TBE in der Demontagekammer demontiert und durch den Tunnel zurücktransportiert und in der Startkaverne Chur wieder montiert.



Montage TBE



Montage Nachläufer

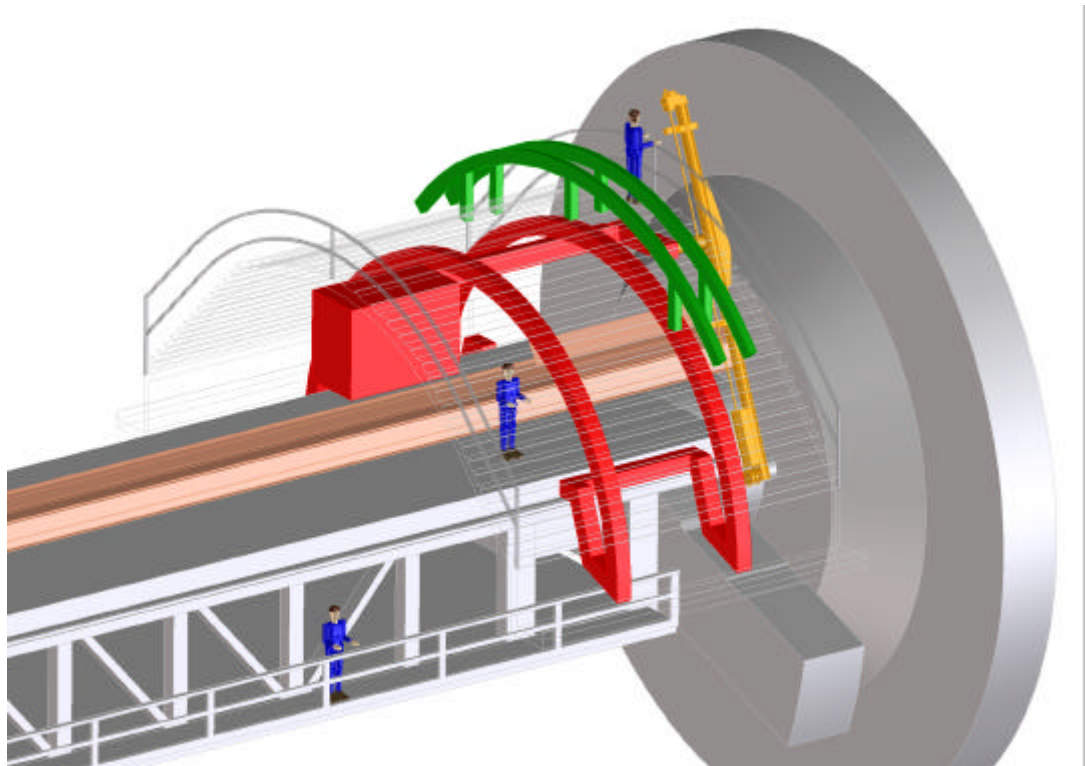


7. Sicherung

7.1. Nachlaufsystem

Das Nachlaufsystem baut auf folgende Grundlagen auf:

- Leistungsfähiger Einbau der Felssicherung direkt hinter dem Bohrkopf (Anker, Stahleinbau, Netze, Spritzbeton)
- Für das Erstellen der Ankerbohrlöcher sind Lafetten auf dem Oberdeck vorgesehen



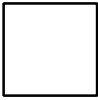
Gerüst und Bohrlafette im L1

7.2. Anker

Infolge der 6-8 m langen Anker werden Seilanker verwendet. Als Sofortsicherung werden Swellex vorgesehen.

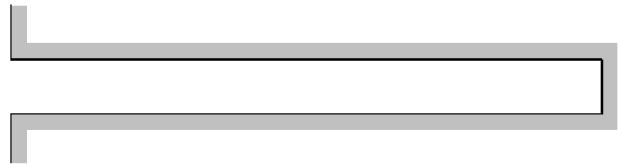
Was sind Seilanker?

- Schlaffe Stahlseile in injizierte Bohrlöcher versetzen
- Injizieren der Bohrlöcher vor oder nach dem Versetzen der Seilanker
- Variable Länge von 1 m bis 25 m
- Seit 20 Jahren in der Minen- und Bauindustrie weltweit erfolgreich angewendet

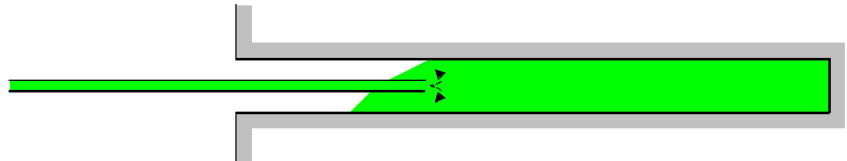


Versetzen der Seilanker (Malmberget Methode)

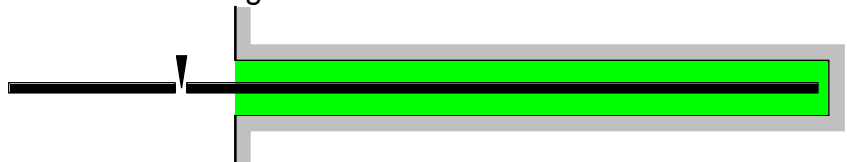
1. Bohrloch \varnothing 51 mm bohren



2. Injektion Bohrloch mit Mörtel



3. Versetzen Seilanker und auf Länge zuschneiden

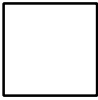


4. Erhärten des Mörtels



Vorteile Seilanker

- Lange Anker versetzbar bei geringen Platzverhältnissen



8. Ausblick

- Montage der TBM-Pilot ab anfangs April 2002
- Montage TBE ab November 2002



Glück auf!