

Amberg - Tagung Uetlibergtunnel

23. / 24. und 25. Januar 2002

**Baustelle Uetlibergtunnel, Landikon**

## **Erfahrungen mit dem Lockergesteinsvortrieb**

**Vortrag Stefan Maurhofer**

Regensdorf, 22. Januar 2002

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1. Einleitung.....	3
2. Auffahren der Lockergesteinsstrecke Diebis .....	3
2.1. Paramentstollenvortriebe .....	4
2.2. Kalottenvortrieb .....	5
2.3. Abbau des Kerns.....	7
2.4. Sohlausbruch, Ringschluss .....	7
3. Resultate der Bauwerksüberwachung .....	8
3.1. Verhalten des Grundwasserspiegels.....	8
3.2. Deformationsmessungen .....	9
3.3. Extensometermessungen.....	10
3.4. Stahldehnungen (Strain Gauges).....	10
4. Übergang Lockergestein - Molasse .....	11
4.1. Röhre Basel .....	11
4.2. Röhre Chur.....	11
4.3. Ausbruchquerschnitte im Übergangsbereich .....	11
4.4. Montagekaverne .....	12
5. Stand der Arbeiten.....	12
5.1. Lockergesteinsstrecke Diebis.....	12
5.2. Lockergesteinsstrecke Juchegg .....	13
5.3. Lockergesteinsstrecke Gjuch .....	13
5.4. Transportstollen .....	13
5.5. Abluftschacht Eichholz .....	13
6. Zusammenfassung / Fazit .....	14

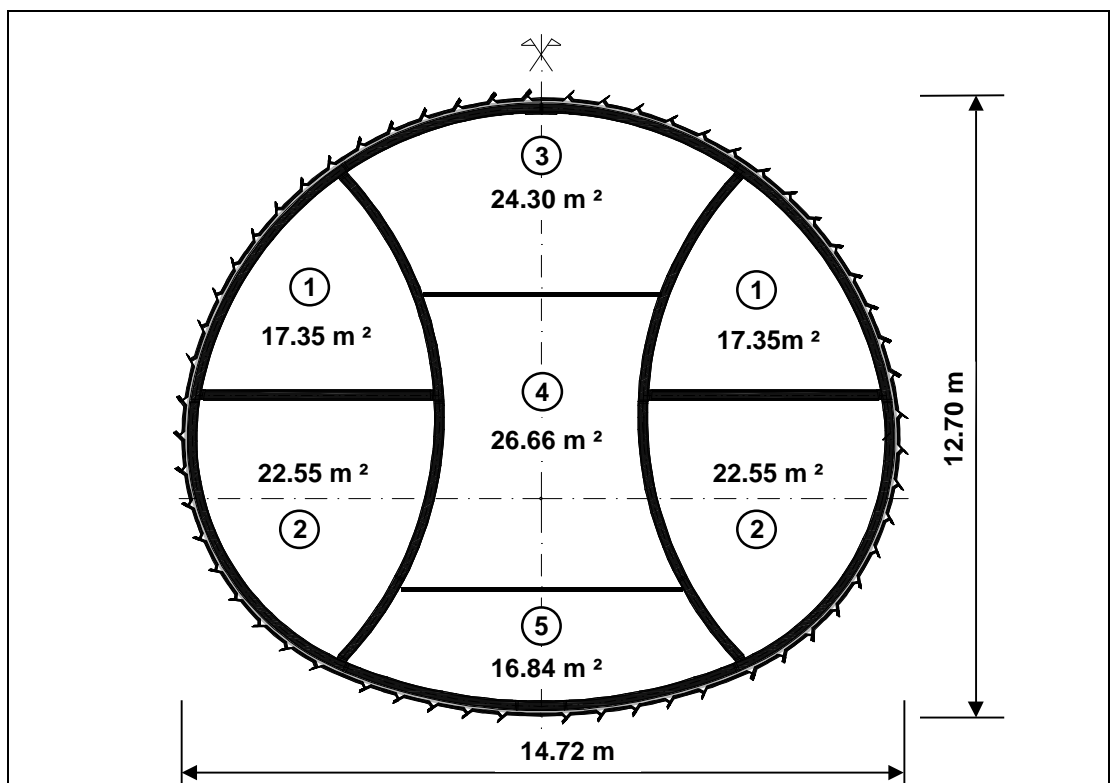
## 1. Einleitung

Der Bau der Lockergesteinsstrecken stellt hohe Anforderungen an die Belegschaft der ARGE Uetli und die örtliche Bauleitung. In den folgenden Kapiteln wird über das Auffahren der Lockergesteinsstrecke Diebis mit den einzelnen Teilquerschnitten sowie über die Messresultate der Bauwerksüberwachung berichtet. Den Angaben zur Lockergesteinsstrecke folgt eine Übersicht über den Übergangsbereich Lockergestein-Molasse und eine Übersicht zum Stand der Arbeiten am Uetlibergtunnel.

## 2. Auffahren der Lockergesteinsstrecke Diebis

Die Lockergesteinsstrecke Diebis wird in der Kernbauweise aufgefahren und teilt sich in sieben Teilquerschnitte wie folgt auf:

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



Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die einzelnen Teilquerschnitte mit den zugehörigen Bauhilfsmassnahmen der Lockergesteinsstrecke Diebis.

## **2.1. Paramentstollenvortriebe**

Am 4. April 2001 wurde am Portal Landikon in der Röhre Basel die Pfahlwand aufgebrochen und mit dem Vortrieb in den oberen Paramentstollen begonnen.

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.

Beim Auffahren der ersten Tunnelmeter in den oberen Paramentstollen lagen die Vortriebe im Gehängelehm. Durch den Wasseranfall und zur Erhöhung der Arbeitssicherheit mussten zeitweise im Vortriebsbereich zusätzliche Sicherungsmittel wie Spiesse, Netze und Drainagerohre im Firstbereich eingebaut werden. Bei längeren Stillstandszeiten - wie z.B. über Ostern - musste die Brust zusätzlich gesichert werden.

Aufgrund der Erfahrungen der ersten Tunnelmeter wurde entschieden, dass die oberen Paramentstollen, im Hinblick auf ihre Entwässerungswirkung für den Kalottenausbruch, dem gesamten Tunnelquerschnitt vorausgehend vortrieben werden. Die Auswirkung der vorgezogenen oberen Paramentstollen auf den Grundwasserspiegel wird unter Kapitel 3 beschrieben.

Der Bereich der unteren Paramentstollen wurde im Abstand von 10-20 m mit den selben Sicherungselementen nachlaufend ausgebrochen.

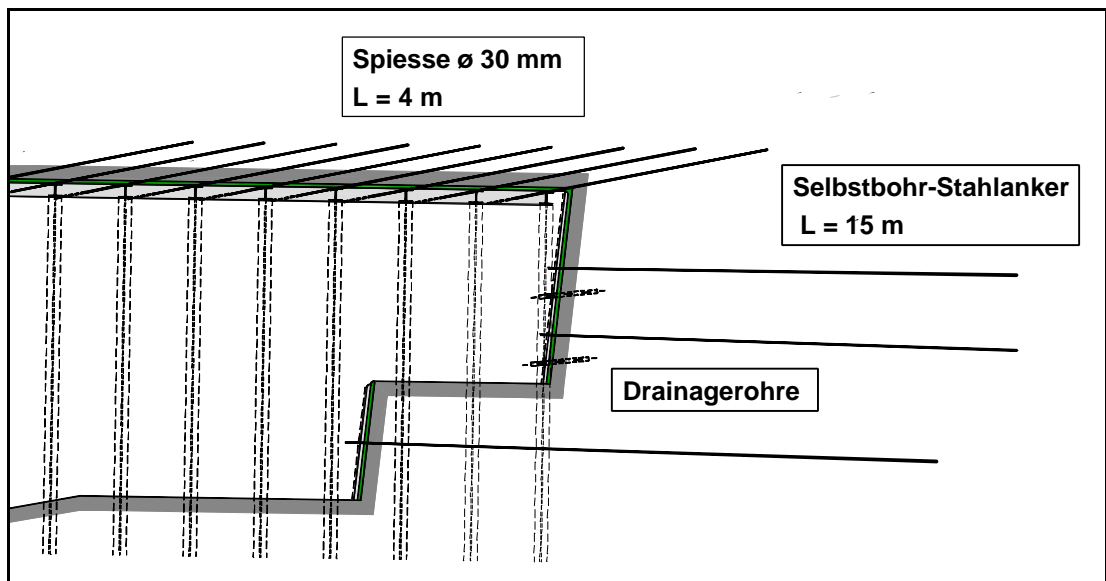


Die Logistik für die Paramentstollenvortriebe (Ausbruch, Stahleinbau) wurde über eine Piste in den unteren Paramentstollen abgewickelt. Der Spritzbeton konnte ab dem Portal direkt zu den Vortrieben gepumpt werden.

## 2.2. Kalottenvortrieb

In der Projektierungsphase wurden einzelne Bauhilfsmassnahmen vorgesehen, welche nach den Erfahrungen der ersten Tunnelmeter in den Paramentstollenvortrieben für den Kalottenvortrieb verfeinert wurden.

Für den Kalottenvortrieb mit einer Spannweite von ca. 8 m wurde in der Startphase ein 20 m langer Rohrschirm, bestehend aus 29 Rohren, mit einem Durchmesser von 152.4 mm ausgeführt. Im Schutze dieses Rohrschirms konnte der Ausbruch der Kalotte am 3. August 2001 gestartet werden. Als Bauhilfsmassnahmen im Anschluss an den Rohrschirm wurden folgende Elemente festgelegt:



- Firstsicherung mit Spiesse Durchmesser 30 mm, Länge 4 m. Nach jeder Ausbruchetappe werden 30 Spiesse in den Firstbereich zwischen den Stahleinbaubogen eingerammt.
- Eine Brustankerung mit neun 15 m langen Stahl-Selbstbohrankern und einer Überlappung von 3 m wird in die Kalottenbrust eingebracht. Die Kalottenbrust wird zusätzlich in der Startphase mittels Arbeitsberme abgestuft. Die Brustankerung wird mit Zement ausinjiziert. Nach jeder Vortriebsetappe kann die Brustankerung zurückgeschnitten und die Brust mittels Bewehrungsnetz und der rückversetzten Ankerplatte gesichert werden.
- Zusätzlich werden bei Wasservorkommen Drainagerohre in die Ortbrust eingebaut.

Der Ablauf für den Einbau der Sicherungselemente erfolgte analog dem Parameterstollenvortrieb. Nach Ausbruch eines Meters wird zuerst das offene Lockermaterial mit Trockenspritzbeton versiegelt und im Anschluss der Firstbereich mittels Netz und Stahleinbaubogen gesichert. Im nächsten Schritt werden die Firstspiesse eingerammt und im Anschluss daran das Feld zwischen den Stahleinbaubogen mit Stahlfaser-Nassspritzbeton ausgespritzt. An diesem Vorgehen wird über den gesamten Kalottenvortrieb in der Lockergesteinsstrecke Diebis festgehalten. Die zusätzlichen Massnahmen sind entscheidend für die Arbeitssicherheit im Kalottenvortrieb und die Reduktion der Deformationen beim Ausbruch der Kalotte.



### **2.3. Abbau des Kerns**

Zur Reduktion der Deformationen im Gesamtprofil wurde festgelegt, dass der Sohlringschluss 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. Mit dieser Rampe im Kernausbau kann der Unternehmer flexibel die notwendigen Geräte zum Kalotten- und oberen Paramentstollenvortrieb fahren. Die inneren Paramentstollenwände werden während dem Abbau des Kerns vor dem Sohlausbruch abgebrochen.

### **2.4. 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 Teilausbau von 3-4 m geöffnet, in welchem die Versiegelungsschicht, der Stahleinbau und Stahlfaser-Nassspritzbeton eingebracht werden. Mit diesem rücklaufenden Vorgehen muss die Schüttung der Fahrpiste im Sohlbereich nicht laufend vor Kopf über dem frisch gespritzten Nassspritzbeton ausgeführt werden.



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

### **3. 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.

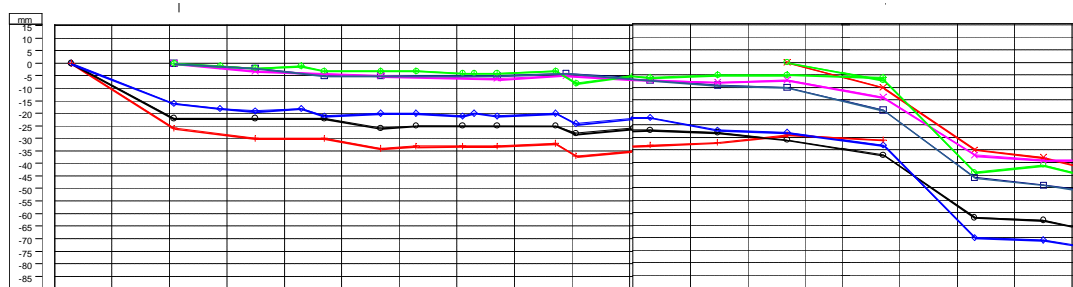
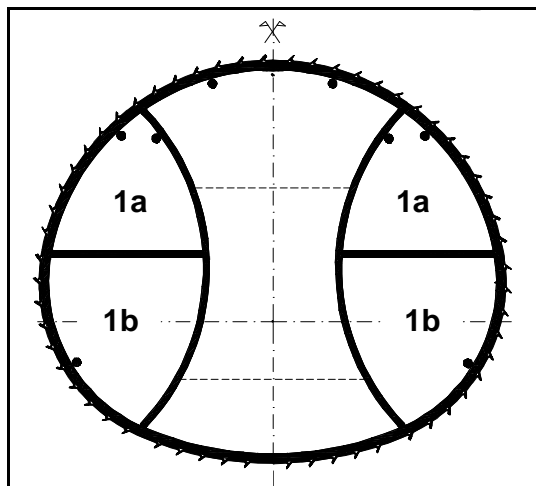
#### **3.1. Verhalten des Grundwasserspiegels**

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 1-3 m.

### 3.2. Deformationsmessungen

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

Die Konvergenzmessungen zeigen, dass sich beim Vortrieb des oberen Paramentstollens (1a) bei rund 20 m Überlagerung praktisch noch keine messbaren Verformungen einstellen. Beim Ausbruch des unteren Paramentstollens (1b) 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 Verformungen bis 1 cm gemessen. Beim Ringschluss treten nochmals rund 3 cm an 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.

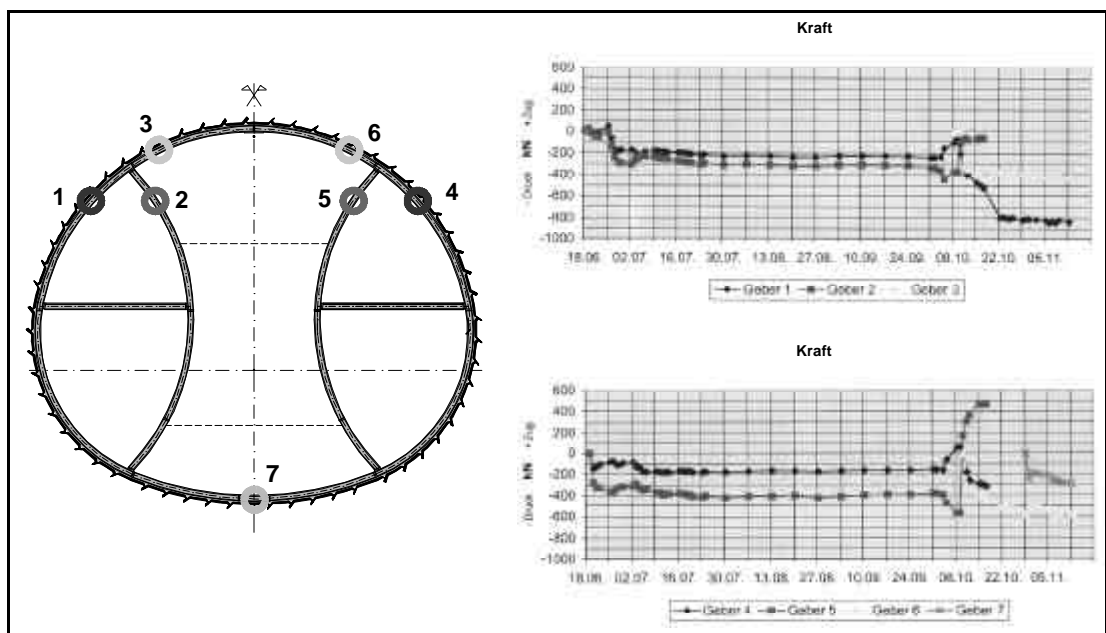
### 3.3. Extensometermessungen

Bei einzelnen Querschnitten werden in den verschiedenen Vortriebsphasen zur Kontrolle Extensometer versetzt. Dabei handelt es sich um drei- resp. vierfache 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 festgestellt. Die mit den Extensometern gemessenen Bewegungen sind ca. 5mal 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.

### 3.4. Stahldehnungen (Strain Gauges)

Bei vier Querschnitten wurden je sieben Stahldehnungsmessgeber (Strain Gauges) montiert. Die einzelnen Messwerte an der gleichen Stelle der vier Querschnitte weisen dabei 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 Ausbruchssicherung 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.

## **4. Übergang Lockergestein - Molasse**

In der Projektierungsphase wurden für die geologische Prognose Bohrungen und Seismikaufnahmen durchgeführt. Durch das neue Vortriebsverfahren mit der Ausweitungsmaschine resultiert eine höhere Scheitellinie, insbesondere im Bereich der Startkaverne TBE (zusätzliche Höhe ca. 2 m). Deshalb wurden zur genaueren Definition der Grenze zwischen dem Lockergestein und der Molasse im Herbst 2001 zusätzliche Bohrungen von der Oberfläche her abgeteuft.

### **4.1. Röhre Basel**

Die zusätzlichen Bohrungen im Bereich der Röhre Basel zeigten auf, dass das prognostizierte Tal im Bereich des Überganges Lockergestein-Molasse nicht im vorgesehenen Umfang vorhanden ist. Zusätzlich liegt die Molasseobergrenze rund 2 m höher als in der ursprünglichen Prognose. Somit liegt der Übergang zur Molasse trotz des höheren Profils projektgemäss bei ca. Tm 234.

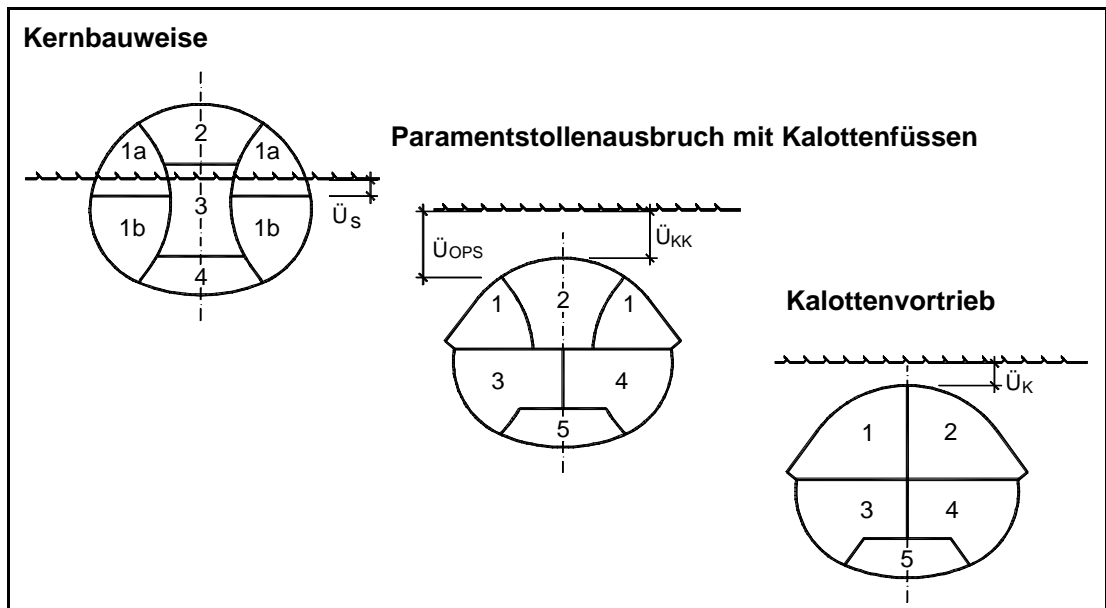
### **4.2. Röhre Chur**

Die zusätzlichen Bohrungen im Bereich der Röhre Chur zeigten hingegen, dass die Molasseobergrenze insbesondere am Tunnel-Südrand auf gleicher Höhe oder sogar tiefer liegt, als in der Prognose angenommen. Dies ergibt nach dem effektiven Lockergesteinsvortrieb von ca. 250 m einen zusätzlichen Übergangsbereich bis zur Startkaverne von über 100 m. Die Kaverne kommt auf ca. Tm 360 zu liegen.

### **4.3. Ausbruchquerschnitte im Übergangsbereich**

Für das Auffahren der Übergangsstrecke Lockergestein - Molasse wurden drei Vortriebsarten mit der zugehörigen Teilung der Ausbruchquerschnitte definiert.

Der erste Ausbruchquerschnitt ist die normale Kernbauweise, bei welcher in den unteren Teilquerschnitten die Molasse mittels Abbauhammer ausgebrochen wird. Sobald die gesunde Molasseobergrenze um mehr als 1 m in das Profil der oberen Paramentstollen hineinragt, kann auf den zweiten Ausbruchquerschnitt umgestellt werden. Bei diesem Ausbruch werden zusätzlich zum Stahleinbau in den oberen Paramentstollen Kalottenfüsse eingebaut. Später werden die Teilausbrüche 3, 4 und 5 im Sprengvortrieb nachgezogen und mit Ankern, Netzen und Spritzbeton gesichert. Ab einer Kalottenüberdeckung der Molasse von 4 m kann das Profil im oberen Bereich in einem zweigeteilten Kalottensprengvortrieb aufgefahren werden.



#### 4.4. Montagekaverne

Die Geometrie der Montagekaverne ist durch die Bedürfnisse der Maschinenmontage vorgegeben. Die Kaverne wird in Teilquerschnitten im Sprengvortrieb aufgefahren. Die Sicherung besteht aus 6 m langen Ankern, Netzen und Nassspritzbeton. Die Ortbrüst der Kaverne wird mit GFK-Ankern gesichert, welche später beim TBE-Ausbruch durch die Rollenmeissel abgearbeitet werden. Die 8 m lange Startröhre der Pilot-TBM mit einem Durchmesser von 5.50 m wird ebenfalls gesprengt und mittels Stahlfaser-Nassspritzbeton und GFK-Ankern gesichert.

### 5. Stand der Arbeiten

#### 5.1. Lockergesteinsstrecke Diebis

Am 4. April 2001 wurde mit den Lockergesteinsvortrieben begonnen. Zur Zeit zeigt sich der Vortriebsstand in der Röhre Basel wie folgt (Stand 14.1.2002):

- Die oberen Paramentstollen und die Kalotte haben die Lage der Kaverne bei Tm 233 erreicht
- Der Vortrieb der unteren Paramentstollen liegt bei Tm 195
- Der Kern- und Sohlbruch (Ringschluss) liegt bei Tm 175

In der Röhre Chur ist folgender Stand erreicht (Stand 14.1.2002):

- Der obere Paramentstollen links liegt bei Tm 242
- Der obere Paramentstollen rechts liegt bei Tm 246
- Der untere Paramentstollen links liegt bei Tm 221
- Der untere Paramentstollen rechts liegt bei Tm 227

- Der Kalottenvortrieb liegt bei Tm 208
- Der Kern- und Sohlausbruch (Ringschluss) liegt bei Tm 168

In den einzelnen Teilquerschnitten wurden folgende Leistungen erreicht:

Obere Paramentstollen:	Durchschnittliche Leistung	2.8 m/AT
	Maximale Leistung	5.0 m/AT
Untere Paramentstollen:	Durchschnittliche Leistung	3.3 m/AT
	Maximale Leistung	5.0 m/AT
Kalotte:	12 m-Etappe inkl. Brustankerung	3 - 4 m/AT
Kern:	12 m-Etappe inkl. Abbruch der Paramentstollenwände	6 - 12 m/AT
Sohle:	12 m-Etappe	8 – 12 m/AT

Die durchschnittliche Leistung über den Gesamtquerschnitt beträgt ca. 1.1 m/AT.

## **5.2. Lockergesteinsstrecke Juchegg**

Die Baugrube im Bereich Gänziloo / Brunau wurde fertiggestellt. Beim Abtiefen der Baugrube wurde die erste Rohrschirmetappe in beiden Röhren eingebracht. Ende Januar 2002 wird die Pfahlwand im Bereich des oberen Paramentstollens rechts der Röhre Basel abgebrochen und mit dem Vortrieb begonnen.

## **5.3. Lockergesteinsstrecke Gjuch**

Zur Zeit laufen noch die Fertigstellungsarbeiten an der Baugrube Wannboden. Beim Abtiefen der Baugrube wurde ebenfalls bereits eine Rohrschirmetappe im Kalottenbereich erstellt. Der voraussichtliche Vortriebsbeginn der Lockergesteinsstrecke Gjuch wurde auf Anfang April 2002 angesetzt.

## **5.4. Transportstollen**

Mit den Voreinschnitten des Transportstollens wurde am 16. November 2000 begonnen. Ab dem 20. Februar 2001 wurden im Bereich Landikon die Lockergesteinsvortriebe im Schutze des Rohrschirms gestartet. Am 10. Mai 2001 hat die Tunnelbohrmaschine mit Durchmesser 3.72 m den Vortrieb Richtung Filderen aufgenommen. Der Durchschlag des Transportstollens erfolgte am 20. September 2001.

## **5.5. Abluftschacht Eichholz**

Die Vorbereitungsarbeiten wie Rodung und Voraushub wurden im Jahre 2001 abgeschlossen. Zur Zeit laufen die Arbeiten an der Baugrube für den Abluftschacht.

## 6. Zusammenfassung / Fazit

Nur durch eine ständige Beurteilung der angetroffenen Vortriebsverhältnisse in den Lockergesteinsstrecken und einer gezielten Anordnung der vorgängig definierten Bauhilfsmassnahmen ist es möglich, die anspruchsvollen Lockergesteinsvortriebe im grossen Tunnelquerschnitt erfolgreich zu bewältigen.

Mit der engen Zusammenarbeit zwischen der ARGE Uetli, der Bauleitung und der Projektierung konnten wir bis heute unter Beweis stellen, dass das gewählte Konzept das Richtige ist. Wir sind überzeugt, dass uns dies auch in den übrigen Lockergesteinsstrecken und natürlich auch in den Felsstrecken mit Sprengvortrieb und mechanischem Vortrieb gelingen wird.

	
<b>Stefan Maurhofer</b> Dipl. Bauingenieur FH Chefbauleiter Uetlibergtunnel	Amberg Engineering AG Trockenloostrasse 21 Postfach 27 CH-8105 Regensdorf-Watt
smaurhofer@amberg.ch	Tel. +41 1 870 91 11 Fax +41 1 870 06 20 www.amberg.ch