

# SBB-Zimmerberg-Basistunnel. Teil 1, Geologie der Felsstrecke von der Kollerwiese bis Thalwil

Autor(en): **Rey, Roger**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin für angewandte Geologie**

Band (Jahr): **8 (2003)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-224300>

## **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.

# SBB-Zimmerberg-Basistunnel Teil 1: Geologie der Felsstrecke von der Kollerwiese bis Thalwil

†Roger Rey<sup>1</sup>

**Stichworte:** Ingenieurgeologie, Tunnelbau, OSM, Bentonit

## Zusammenfassung

Von 1997 bis 2003 wurde der erste Teil des Zimmerberg-Basistunnels realisiert. Dieser ist Teil des Projektes «Bahn 2000» und dient der Entlastung des Streckenabschnitts zwischen Zürich und Thalwil. Die ganze Trasse mit einer ca. 900 m langen Lockergesteins- und einer ca. 8,3 km langen Felsstrecke durchfährt geologisch-hydrogeologisch heikle Zonen, die bautechnisch hohe Anforderungen stellen: Bauen im Lockergesteinsgrundwasserleiter mit geringer Überdeckung in überbautem Gebiet oder Vortrieb im Fels mit geringer Felsüberdeckung und darüber liegendem Grundwasserleiter, um nur zwei der wichtigsten Teilprobleme zu nennen.

Dank über 100 Ortsbrustaufnahmen konnten die sedimentologischen Eigenheiten und die Tektonik der Zürcher-Molasse in einem hohen Detaillierungsgrad untersucht werden.

Entlang der Tunneltrasse verlaufen die Schichten sehr flach. Anhand der Tunnelaufnahmen konnten tektonische Strukturen wie die Uetliberg-Mulde und die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale erkannt werden. Eine Besonderheit war der Küsnachter Bentonit im Tunnelprofil, der sich über eine Strecke von fast 2 km verfolgen liess. Dieser, vor 15 Mio. Jahren abgelagerte Leithorizont erlaubt die Gliederung der Molasse sowie die Rekonstruktion eines Paläoreliefs.

## 1. Einleitung

Mit dem Bau der 2. Doppelspur der Eisenbahnstrecke Zürich-Thalwil wurde von 1997 bis 2003 der erste Teil des Zimmerberg-Basistunnels realisiert, eines leistungsfähigen Korridors, der Zürich mit der Ostschweiz, resp. Graubünden verbindet. Die geologischen Verhältnisse entlang der Tunneltrasse (ca. 900 m Lockergesteins- und ca. 8,3 km Felsstrecke) wurden bereits in früheren Publikationen auf der Basis der Prognose (Freimoser 1998) und erster Befunde (Rey & Egli 2000) ausführlich erläutert. Eine Projektübersicht und die geologischen Randbeding-

## Summary

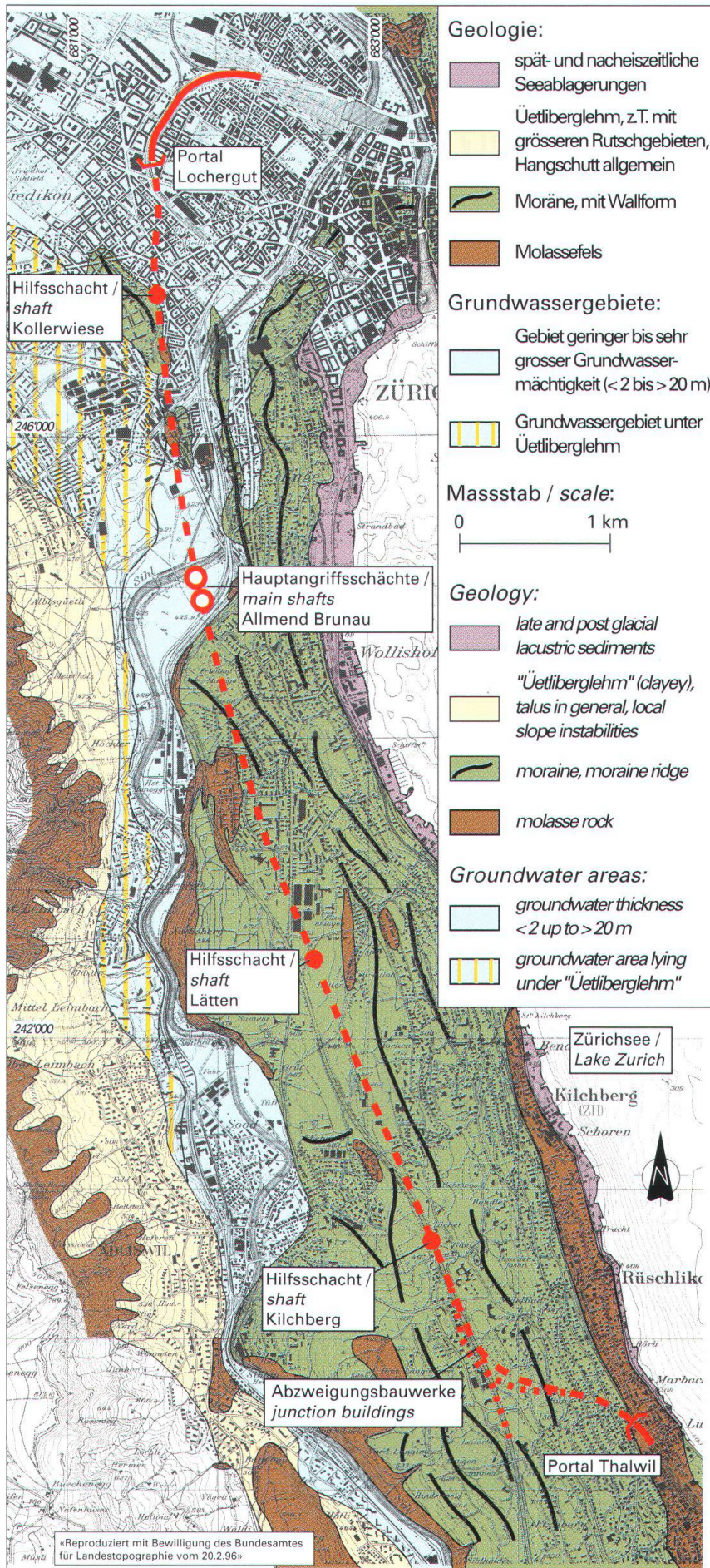
A large railway project is under way along the western shore of Lake Zurich. One of its purposes is to relieve the highly frequented railway stretch between Zurich and Thalwil. The project requires the construction of a tunnel which is driven through about 900 m of poorly consolidated or unconsolidated rock and about 8.3 km of consolidated rock of the Swiss Midland Molasse formation. The geological and hydrogeological situation poses particularly delicate geotechnical problems due to, for example, the construction in an unconsolidated aquifer at shallow depth below an urban area, and working in consolidated rock with overlying aquifer. The paper presents the results from extensive geological mapping of the tunnel walls during the excavation phase. The mapping revealed astonishing detail about certain structural and stratigraphic elements of the local Molasse formation.

ungen der Neubaustrecke werden aus den Figuren 1 und 2 ersichtlich.

Roger Rey, der als baubegleitender Geologe des Büros Dr. von Moos AG die Felsstrecke betreute, wollte den geologischen Befund im Bulletin publizieren. Leider riss ihn ein tragischer Autounfall im Februar 2003 aus dem Leben. Die Dr. von Moos AG veröffentlicht deshalb das von Rey angefangene Manuskript in seinem Namen und ohne grössere Überarbeitung; der Artikel beleuchtet insbesondere Schwerpunkte der geologischen Beobachtungen, welche Roger Rey speziell interessierten. Der besonderen Umstände entsprechend wurde auf eine Ergänzung zu einer weiter ausholenden Gesamtschau und kritischen Diskussion des Befundes verzichtet.

<sup>1</sup> Dr. von Moos AG, Bachofnerstrasse 5, 8037 Zürich;  
info@geovm.ch





**Fig. 1** Geologische Situation der 9.2 km langen Eisenbahnstrecke Zürich-Thalwil, welche zwischen 1997 und 2003 als erster Teil des Zimmerberg-Basistunnels realisiert wurde.



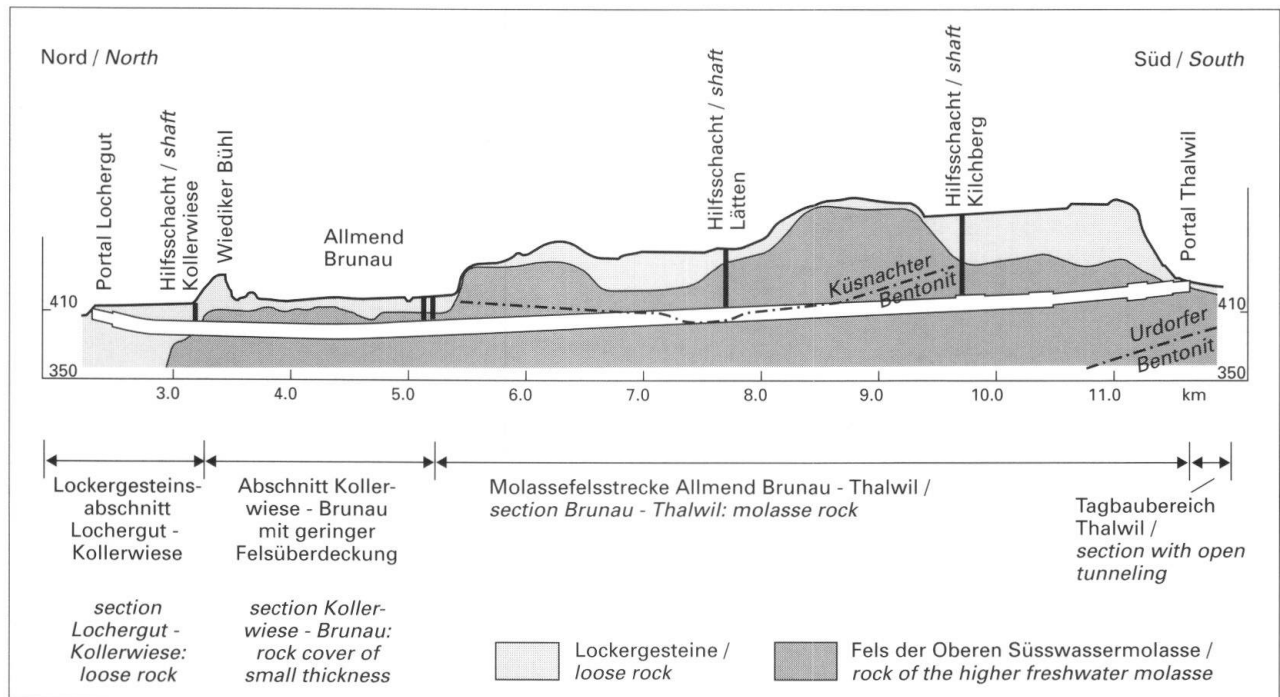


Fig. 2 Geologisches Gesamtlängenprofil der Eisenbahnstrecke Zürich-Thalwil.

## 2. Regionale Übersicht über die Obere Süsswassermolasse im Raum Zürich

### 2.1 Stratigraphie

Die ganze im Rahmen der neuen SBB-Doppelspur aufgefahrene Tunnelstrecke zwischen der Kollerwiese im Norden und Thalwil im Süden verläuft in der Oberen Süsswassermolasse (OSM). Die OSM im Raum Zürich gehört zur sogenannten flachliegenden mittelländischen Molasse. Sie liegt zwischen dem Napf- und dem Hörnli-Schutfächer, die sich beide aus dem Alpenraum ins Schweizerische Mittelland ausbreiten. Entsprechend der distalen Lage des Ablagerungsraums und der damit verbundenen längeren Sedimenttransportwege dominieren im Raume Zürich Mergel, Silt- und Tonsteine einer ehemaligen Überschwemmungsebene. Darin eingeschaltet sind dickere Sandsteinkörper als Zeugen ehemaliger Flussläufe und deren Durchbruchfächer und -rinnen.

Insgesamt dokumentiert die OSM im Raum Zürich vergleichsweise ruhige Sedimentationsbedingungen. Sie lässt sich mittels Leit-  
horizonten in verschiedene Einheiten gli-

edern. Nebst dem wohl bekanntesten Leithorizont des «Appenzellergranites», resp. Meilener Kalkes und anderen Süsswasserkalkniveaus sowie Kohleflözen sind in den letzten Jahrzehnten auch Bentonite (aus vulkanischen Aschen entstandene Tonlagen) für die Gliederung interessant geworden. Für das Tunnelprojekt von besonderem Interesse war der sogenannte Küsnachter Bentonit, der bereits 1959 bei der A3-Höcklerbrücke in der Allmend Brunau erbohrt wurde (Pavoni 1960). Der Bentonit von Urdorf/Uetikon a. See liegt ca. 90 bis 110 m unter dem Küsnachter Bentonit und ca. 60 bis 70 m über dem Meilener Kalk (Gubler 1987) und dürfte sich im Raum Rüslikon rund 10 bis 20 m unter dem Tunnelniveau befinden. Die Felsgesteinsabfolge, welche mit dem Tunnel zwischen der Kollerwiese und Thalwil durchfahren wurde, gehört zusammengefasst zu den so genannten Meilener Schichten (Pavoni 1957) und wurde auf Grund von Datierungen unter anderem des Urdorfer und Küsnachter Bentonits (Gubler et al. 1992) vor rund 15 Mio. Jahren abgelagert.

### 2.2 Schichtfolge und Gesteinstypen

Die Gesteine der Oberen Süsswassermolasse in der Umgebung von Zürich sind in

erster Linie von Flüssen im Bereich einer weiten Schwemmebene im Vorfeld der sich hebenden Alpen abgelagert worden. In Tümpeln und flachen Seen kam es gelegentlich zur Bildung von feinkörnigen Gesteinsarten bis hin zur Ausfällung von Süßwasserkalken. Im Gesteinsverband können für geotechnische Zwecke grob zwei Haupttypen unterschieden werden: Der Typ «Wechselagerung» und der Typ «Rinnensandstein» (s. Fig. 3).

#### **Typ «Wechselagerung»**

Dieser Gesteinstyp umfasst die gebankte Abfolge von Sandsteinen (ursprünglich distalen Überschwemmungssanden), Siltsteinen und oft bunten Mergeln/Tonsteinen. Entsprechend den unterschiedlichen, oft relativ eng begrenzten Faziesbereichen gehen die einzelnen Gesteinsarten sowohl in vertikaler als auch lateraler Richtung graduell ineinander über, wodurch auch vielerlei Mischtypen von wechselnd siltigen, resp. sandigen und wechselnd kalkigen Mergeln existieren. In einzelnen Bohrungen konnten mehrere, z.T. vollständige Ablagerungszyklen voneinander unterschieden werden. Solche Zyklen, welche erosionsbedingt meist nicht vollständig erhalten blieben, beginnen oft mit tonig-siltig-sandigen Sumpfablagerungen, welche kontinuierlich in laminierte, tonig-siltige, kalkige Seeablagerungen übergehen und gegen oben zunehmend wieder sandiger werden. In einzelnen Bohrungen wurden am Ende solcher Zyklen verschiedentlich auch Hinweise auf Bodenbildungen, unter anderem calicheartige, knollige Horizonte beobachtet.

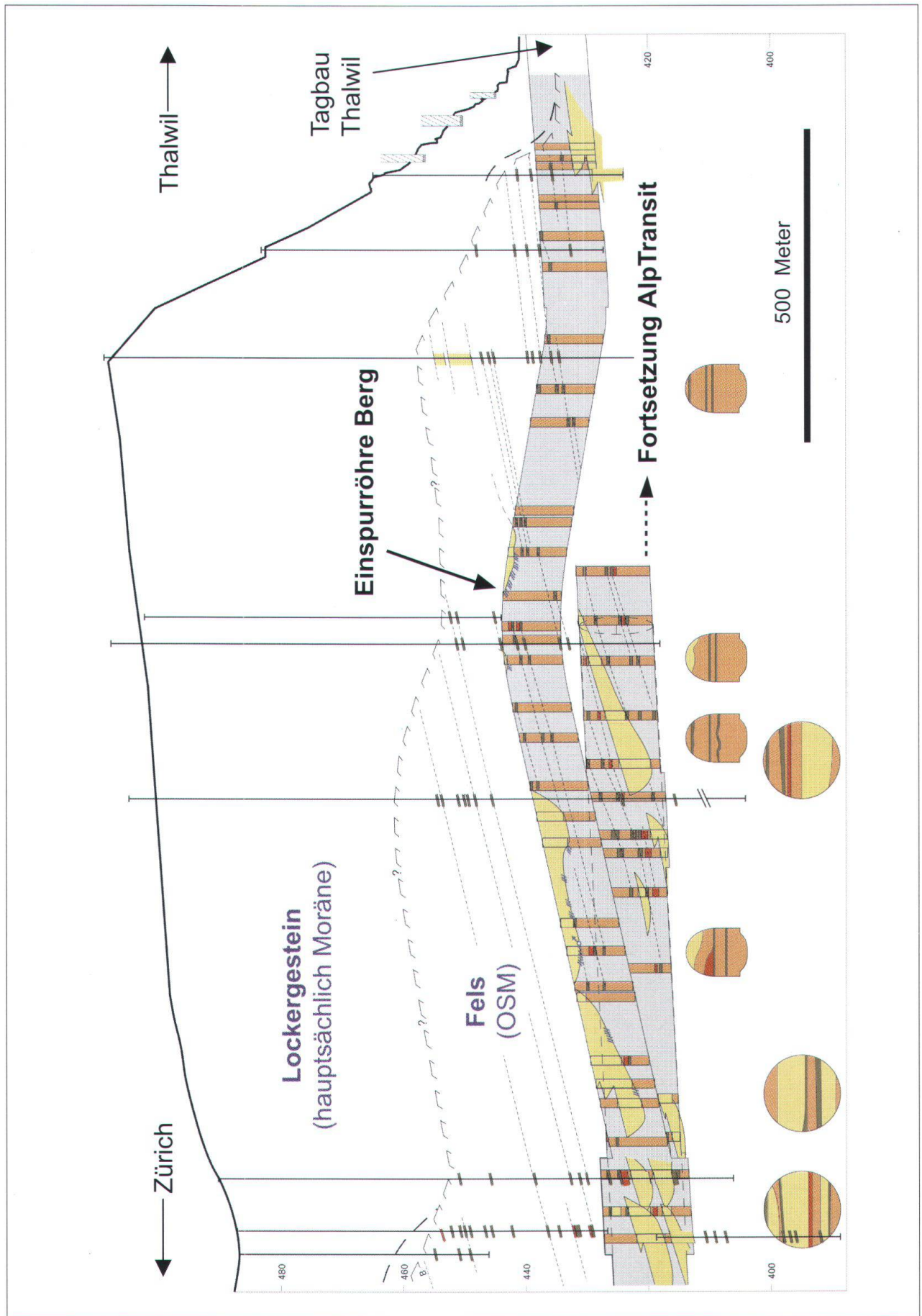
Die obgenannten Sumpfablagerungen führen häufig organisches Material und Schnecken-schalen und sind dadurch schwärzlich gefärbt, weshalb auch von Schwarzhorizonten oder «bituminösen Lagen» gesprochen wird. Diese Schwarzhorizonte lassen sich lateral oft über mehrere hundert Meter, ausnahmsweise auch – wie dies im SBB-Zürichberg-tunnel der Fall war (Felber 1990) – über Kilometer verfolgen und können in gewissen

Fällen als lokal begrenzte «Leithorizonte» innerhalb der Abfolge dienen. Innerhalb des Gesteinsverbandes stellen diese, z.T. in grösserer Zahl auftretenden Horizonte, auf Grund ihres häufig hohen Tongehaltes eigentliche Schwächezonen dar, entlang welcher es beim Felsausbruch bei ungünstiger Exposition zu Ablösungen von Felspaketen kommen kann.

Nebst den Schwarzhorizonten lassen sich auch Rothorizonte über weite Distanzen verfolgen (feinkörnige, kalkige, oft feinlaminierte Mergel mit einer charakteristischen Rotfärbung). Auf Grund der feinen Schichtung handelt es sich bei diesem Gesteinstyp um ein Sediment, welches einst in einem ruhigen Sedimentationsmilieu – am ehesten in einem See – abgelagert worden ist.

#### **Typ «Rinnensandstein»**

Beim zweiten Haupttyp der Gesteinsformation – dem Typ «Rinnensandstein» – handelt es sich um Zeugen von sandverfüllten, ehemaligen Flussläufen und deren Durchbruchsfächer und -rinnen, von denen oft auch mehrere übereinander und ineinander verschachtelt sein können (beispielsweise im Bereich des Abzweigungsbauwerkes Nidelbad bei Thalwil; siehe Fig. 3). Die Rinnensandsteine sind im Gegensatz zu den Sandsteinen des Typs «Wechselagerung» eher grobkörniger und massig (im Gegensatz zu plattig) ausgebildet. Typisch sind auch lokal darin auftretende Resedimente, bei welchen es sich zur Hauptsache um aufgearbeitete Mergelgerölle, selten auch um Kohlestückchen und Holzreste handelt. Im allgemeinen sind die Rinnensandsteine – mit Ausnahme der darin auftretenden, stark kalkig zementierten, harten Bereiche (Härtlinge oder auch Knauer genannt) – eher mässig zementiert und wirken dadurch auch als Porengrundwasserleiter.



**Fig. 3** Geologisches Längenprofil im Bereich Nidelsbad (überhöht). Die «Fortsetzung AlpTransit» entspricht dem Zimmerbergbasistunnel, der noch nicht ausgeführt wurde (S=Sondierung). Bei den Brustaufnahmen wurden zwei, geotechnisch relevante Gesteinstypen unterschieden: «Rinnensandsteine» (olivgrün) und «Wechsellagerungen» (braun).



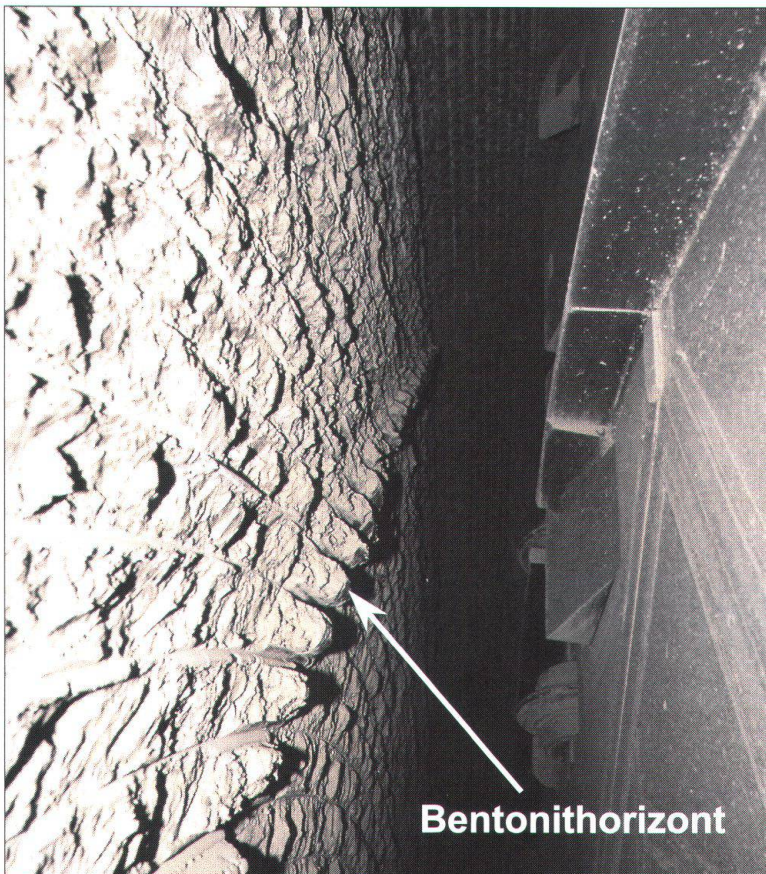


**Fig. 3b** Legende zu den geologischen Profilen.

### Besondere Gesteinsschichten

Nebst den oben erwähnten, zumindest optisch gut identifizierbaren Schwarz- und Rothorizonten wurde als Besonderheit zwischen SBB-km 6+875 und km 8+515 der Küssnacher Bentonit im Tunnelprofil angefahren. Die ca. 10 bis 15 cm dicke, grünlichgraue plastisch-feste Tonlage ragte, bedingt durch ihren hohen Tonanteil und dem damit verbundenen, im Vergleich zum spröden Nebengestein fehlenden Absplitterungsverhalten beim TBM-Vortrieb, jeweils in charakteristischer Weise aus der Ortsbrust heraus (Fig. 4). Dieser Umstand erlaubte – zusammen

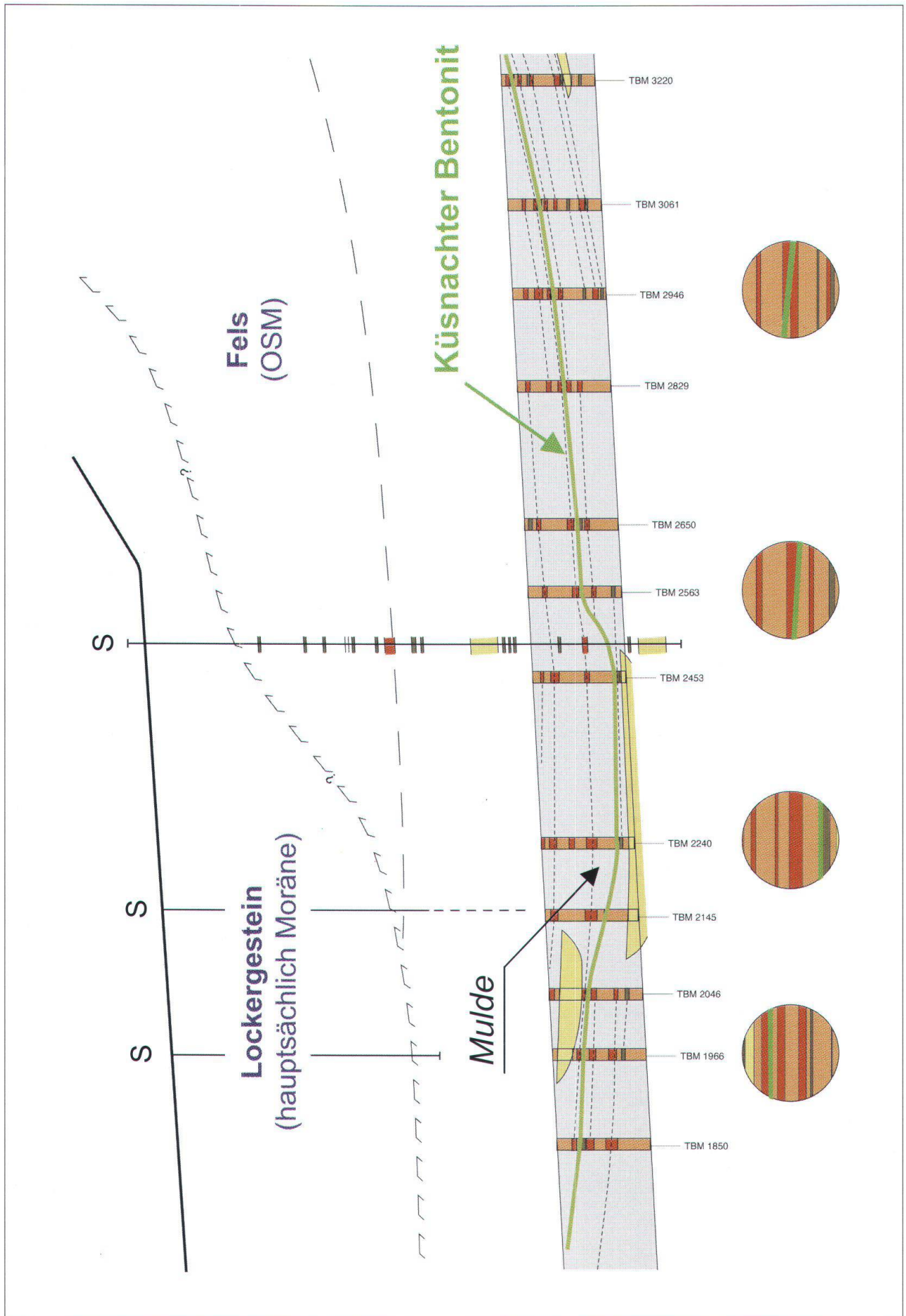
mit den bereits erwähnten Schwarz- und Rothorizonten – den sehr flachen Schichtverlauf entlang der Trasse zu verfolgen. Die Dicke des Bentonit-Horizontes war im aufgefahrenen Teil generell ziemlich konstant. Als sedimentologische Besonderheit war dank des Bentonit-Horizontes bei SBB-km 7.5 im Gebiet Wollishofen (Fig. 5) innerhalb des sonst sehr gleichmässigen Schichtverlaufs eine kleine Senke als Abbild des Paläoreliefs zu erkennen. Der Küssnacher Bentonit liegt in diesem Bereich allerdings nicht mehr als reiner Bentonit vor, sondern ist z.T. stark verschwemmt und mit detritischem Material (Silt, Feinsand) durchmischt. Es liegt deshalb der Schluss nahe, dass die vulkanische Asche in diesem Bereich in einen Tümpel abgelagert worden ist. Diese Vermutung wird auch dadurch gestützt, dass dort der verschwemmte Bentonit zusammen mit einem bis zu 1.2 m mächtigen Schwarzhorizont mit Schnecken- und Kleinsäugerzähnen (Tümpelablagerungen) auftritt, in welchem unter anderem auch Bentonit-Linsen eingelagert sind.



**Fig. 4**

Aufnahme des Küssnacher Bentonit-Horizonts, wie er sich beim TBM-Vortrieb an der Ortsbrust, hinter dem zurückgezogenen Bohrkopf präsentiert (Foto R. Rey).





**Fig. 5** Geologisches Längenprofil (überhöht) im Gebiet Wollishofen, jenem Streckenabschnitt auf dem der Küsnachter Bentonit durchörtet wurde [S=Sondierung]. Die Mulde in der linken Bildhälfte entspricht dem Geländereief zur Zeit der Ablagerung des vulkankischen Aschehorizonts.



## 2.3 Tektonik und Schichtlagerung

Bereits aus älteren Untersuchungen verschiedener Autoren war bekannt, dass die Zürcher Molasse in flache Mulden und Sättel verbogen ist. Die optisch charakteristischen Horizonte, wie der Leithorizont des Küssnachter Bentonits, die Rothorizonte und die zahlreich auftretenden Schwarzhorizonte innerhalb des Typs «Wechselagerung», erlaubten während des Tunnelvortriebs, den sehr flachen Schichtverlauf entlang der Tunneltrasse zu verfolgen. Als wichtigste tektonische Strukturen sind die sogenannte Uetliberg-Mulde im Nordteil sowie die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale im Süden des Projektgebietes zu erwähnen. Die Tunnelaufnahmen zeigen, dass die Achse der Uetliberg-Mulde ca. 100 m nördlich des Lüftungsschachtes Lätten im Bereich der A1-Ausfahrt Wollishofen die Tunneltrasse quert. Von dort aus steigen die Schichten in nördlicher Richtung gegen die Allmend Brunau mit weniger als  $1^\circ$ , in südlicher Richtung gegen die Käpfnach-Grüninger-Antiklinale mit 1 bis  $2^\circ$  an. Die Schichten weisen entlang des Tunnels einen bemerkenswert konkordanten Verlauf auf, wie dies schon Gubler (1987) entlang der Albiskette festgestellt hat. Entlang der Trasse ist der Schichtverlauf auf Grund der geologischen Aufnahmen kleinräumig etwas flachwellig. Die Ursache dafür ist einerseits in einem gewissen Relief der miozänen Schwemmebene, andererseits in der unterschiedlichen Kompaktion der verschiedenen Sedimente, nicht aber in Störungszonen zu suchen. Letztere wurden früher zur Erklärung der Strukturen zwar postuliert (Pavoni 1960); durch die Erkenntnis, dass in der Zürcher Molasse nicht nur ein einzelner, sondern mehrere Bentonit-Horizonte existieren, wurde dieses Postulat gegenstandslos (Pavoni & Schindler 1981).

## 3. Geologischer Befund im Bereich TBM-Strecke und Einspurröhren Nidelbad

Der geologische Befund im rund 9 km langen Molassefels-Abschnitt zwischen der Kollerwiese und Thalwil stützt sich auf über 100 Ortsbrustaufnahmen. Der Fels besteht in diesem Tunnelabschnitt überwiegend aus dem Typ «Wechselagerung», wobei die mergeligen Gesteine im allgemeinen dominieren. In den mergeligen Partien treten relativ häufig Schwarzhorizonte auf, bei SBB-km 6+270 waren es innerhalb des Tunnelquerschnitts insgesamt 6 Stück. Die Mächtigkeiten dieser dunkel gefärbten Horizonte beschränken sich im allgemeinen auf wenige Zentimeter bis Dezimeter, können aber ausnahmsweise auch einmal über 1 m betragen, wie dies im Bereich der bereits erwähnten Mulde beim Notausstieg Lätten der Fall war. Die Schwarzhorizonte liessen sich z.T. über mehrere hundert Meter, einzelne Schichten gar über Distanzen von gegen 1 km verfolgen, ähnliches gilt auch für die Rothorizonte. Die eindrücklichste Schicht innerhalb der mit der TBM aufgefahrenen Strecke stellte der Horizont des Küssnachter Bentonits dar, welcher bei SBB-km 6+875 von oben her ins Tunnelprofil eintrat und dieses entsprechend dem Schichtverlauf – die Schichten steigen nach der Umbiegung im Bereich Schacht Lätten (Uetlibergmulde) mit 1 bis  $2^\circ$  gegen Süden wieder an – bei km 8+525 wieder gegen oben verliess. Weiter südlich wurde der Bentonit in einer Bohrung beim Hilfsschacht Kilchberg knapp unterhalb der Felsoberfläche auf Kote 457.3 m ü.M. angetroffen, er liegt dort also bereits gut 30 m über dem Tunnelfirst. Noch weiter südlich fehlt der Horizont, da er offensichtlich erodiert wurde. Am Verlauf des Bentonit-Horizontes konnten einzelne Schwarz- bzw. Rothorizonte «geeicht» werden.

Von Norden her kommend wurden zunächst nur vereinzelt, massige Sandsteinbänke des Typs «Rinnensandstein» aufgefahren, deren Mächtigkeiten im Tunnelquerschnitt

bis gegen 5 m erreichten. Weiter südlich traten Rinnensandsteinbänke in grösserer Zahl auf, von denen einzelne bis knapp 7 m dick und im Bereich des Abzweigungsbauwerkes Nidelbad mehrere über- und ineinander verschachtelt waren (Fig. 3). In diesem Abschnitt konnten Sandsteinbänke über eine Strecke von bis zu 300 m verfolgt werden.

Wie bereits erwähnt, ist die Zürcher Molasse in flache Mulden und Sättel verbogen, wurde tektonisch aber nur wenig beansprucht. Dieses generelle Bild konnte mit den zahlreichen Tunnelaufnahmen weitgehend bestätigt werden. Nur gerade an 10 der insgesamt über 100 geologisch aufgenommenen Stellen im Tunnel wurden vereinzelte, kleinere Klüfte beobachtet. Diese waren vornehmlich an spröde Gesteinsschichten wie Sandsteinbänke und Kalkmergellagen gebunden und wiesen Ausdehnungen bis gegen 2 m auf. Im TBM-aufgefahrenen Tunnelabschnitt konnte der mehr oder weniger ungestörte Fels aufgenommen werden. Dies im Gegensatz zum sprengtechnisch vorgetriebenen Abschnitt vom Abzweigungsbauwerk Nidelbad Richtung Süden, wo der Felsverband durch die Sprengungen zusätzlich in Mitleidenschaft gezogen wurde und eine Unterscheidung zwischen tektonischen Klüften und Sprengklüften oft schwierig war.

In den felsoberflächennahen Zonen (Felsüberdeckung 10 bis 20 m) wurden keine Anzeichen einer erhöhten Klüftigkeit im Firstbereich festgestellt. Im Bereich des Gegenvortriebs Thalwil, wo die Felsoberfläche Richtung Thalwil ins Tunnelprofil eintaucht, befand sich über dem anstehenden Fels ein lokal bis rund 3 m mächtiges, glazial verschlepptes Felspaket, welches durch die glaziale Beanspruchung eine gewisse Klüftigkeit aufwies.

#### 4. Wasserverhältnisse

Der Molassefels im Raum Zürich – insbesondere die Mergel und Sandsteine des Typs «Wechselagerung» – wurden in der Prognose mit Ausnahme allenfalls geklüfteter, oberflächennaher Felsbereiche als praktisch undurchlässig taxiert. Eine bescheidene Porenpermeabilität wurde den «Rinnensandsteinen» attestiert.

Auf Grund der angetroffenen Verhältnisse kann der aufgefahrene Fels generell als «trocken» bezeichnet werden. Entlang des Tunnels wurden an einzelnen Stellen kleinere Wasserzutritte verzeichnet, welche sich meist erst nach dem Einbau der Tübbingringe als Feuchtstellen manifestierten. Auf Grund der Beobachtungen an der Ortsbrust handelte es sich dabei weitgehend um Porenwasser aus Sandsteinrinnen. An der Ortsbrust wiesen die Rinnensandsteinbänke oft diffuse Feuchtstellen auf. Nicht zuletzt wegen der hohen Vortriebsleistungen der TBM konnten eigentliche, direkt aus der Ortsbrust erfolgende Wasserzutritte nur ausnahmsweise beobachtet werden, so beispielsweise bei SBB-km 7+261 (Tropfwasser) und km 9+944 (Schüttungsmenge ca. 4 Liter/Minute). An beiden Stellen trat das Wasser an der Basis von Rinnensandsteinbänken aus. Wo der Küssnacher Bentonit ins Tunnelprofil ein- bzw. wieder daraus austrat, wurden ebenfalls Wasserzutritte registriert, welche als Stauwasser innerhalb von Sandsteinbänken über dem dichtenden Bentonit-Horizont zu deuten sind. Diese Wasserzutritte versiegten – wie auch weitere – nach einer kurzen Zeit wieder.

In einzelnen sehr nahe an der Tunneltrasse liegenden Sondierbohrungen wurden im Bereich von Sandsteinkörpern Porenwasserdruckgeber eingebaut und die Wasserdrücke während der Bauphase gemessen. Dabei zeigte sich, dass die Felsgrundwasserspiegel zum Teil erheblich gespannt sind, in der Bohrung AT-2 beispielsweise bis rund 50 m. In grösserer Tiefe sind die Wasserspiegel-



schwankungen über die gemessene Zeitperiode von rund 5 Jahren relativ klein, im felsoberflächennahen Bereich – in der Bohrung 94-23 beispielsweise rund 5 m unter der Felsoberfläche – schwankten die gemessenen Spiegel um bis zu 25 m.

In den knapp über dem Tunnelprofil versetzten Porenwasserdruckgebern zeichnete sich bei der TBM-Durchfahrt jeweils eine abrupte Entspannung des Felsgrundwasserspiegels ab. In der Bohrung 94-21 sank das Druckniveau des knapp über dem First liegenden Druckgebers kurzfristig um rund 40 m, stieg danach kontinuierlich wieder an und pendelte sich nach ca. 5 Monaten wenig unter dem Ausgangsniveau wieder ein. Ähnliches zeichnete sich – wenngleich in weit geringerem Ausmass – auch in anderen Bohrungen ab. Interessanterweise zeigten im unteren Tunnelbereich versetzte Geber bei der Durchfahrt eine Druckerhöhung an, was am ehesten mit Spannungsumlagerungen und im unteren Tunnelbereich mit einer Spannungserhöhung im Gebirge erklärt werden kann.

Auf Grund unserer Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass in der Zürcher Molasse im felsoberflächennahen Bereich Entspannungsklüfte existieren, die sich auf einen Tiefenbereich von maximal einigen Dekametern unter der Felsoberfläche beschränken. Wie tiefgründig der Fels

geklüftet ist, hängt unter anderem von der Felsmorphologie und der Landschaftsentwicklung, insbesondere der glazialen Überprägung ab. Je nach Mächtigkeit und Zusammensetzung der Felsbedeckung kann in diesem Bereich mehr oder weniger Kluftwasser zirkulieren. Eigentliches Kluftwasser wurde entlang des Tunnels nur bei SBB-km 9+944 direkt beobachtet, wo sich ein Teil des an insgesamt 3 verschiedenen Stellen aus einer Sandsteinbank austretenden Wassers aus einer subhorizontalen, 4 cm offenen Kluft ergoss. Im Bereich des Aufweitungsbaupwerks Nidelbad, wo die Felsüberdeckung über dem Tunnel noch 10 bis 15 m beträgt, trat aus einzelnen Ankerbohrungen im Firstbereich Tropfwasser aus. Ob es sich dabei um Kluftwasser oder um Porenwasser aus einer knapp über dem Tunnelfirst verlaufenden Sandsteinbank handelt, ist unklar.

## 5. Mineralogische Beobachtungen

Die mineralogische Zusammensetzung der aufgefahrenen Molassegesteine, die unter anderem auch zur Abschätzung des Quellpotentials untersucht wurde, weist ein weites Spektrum auf (vgl. nachfolgende Tabelle). Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt 27 Mergel-/Siltsteinproben und 6 Sandsteinproben mineralogisch untersucht. Die Analysen können wie folgt zusammengefasst werden:

Lithologie (Kurzbeschreibung)	Anzahl Proben	Gesamtkarbonat	Quarz, Feldspat und Akzessorien	Tonminerale
Siltstein, stark tonig (toniger Mergel)	3	41-64	n.b.	n.b.
Siltstein, leicht bis mässig tonig (tonig-siltiger / siltiger Mergel)	16	11-53	13-46	31-48
Siltstein, leicht tonig, kalkig (Kalkmergel)	6	54-67	9-17	16-29
Siltstein, mässig bis stark tonig, dunkelgrau (Schwarzhorizont)	2	28-31	19-21	48-53
Sandsteine	6	n.b.	10-17	n.b.

**Tab. 1** Mineralogische Zusammensetzung repräsentativer Molassegesteine aus der Felsstrecke von der Kollerwiese bis Thalwil (TBM-Vortrieb). Angaben in Gew.%, bezogen auf das Gesamtmaterial; n.b. = nicht bestimmt.

Bei den identifizierten Tonmineralen handelt es sich um Illit, Wechsellagerungen Illit/Smektit, Smektit und Chlorit. Von den analysierten Proben wiesen die Schwarzhorizonte jeweils die höchsten Tongehalte auf, was wohl auch darauf zurückzuführen ist, dass bewusst die optisch stärker tonigen Lagen beprobt wurden. Mit einem Anteil an quellfähigen Tonmineralen von bis zu 17 % ergibt sich für diese Lithotypen durchaus ein gewisses Quellpotential. Die Karbonatgehalte der untersuchten Proben liegen aber zum Teil so hoch, dass nach Angaben des Tonmineralogischen Labors des IGT ein Quellen der Mergel stark gehemmt wird (Karbonat wird bei Entlastung/Wasserzutritt aufgelöst und das Kalzium in die Tonminerale eingebaut, was sich stabilisierend auswirkt). Die kritische Grenze soll bei einem Karbonatgehalt zwischen 15 und 20 % liegen. Da die ermittelten Karbonatgehalte meist und zum Teil deutlich darüber liegen, wurde das Quellpotential der mergeligen Gesteine als relativ gering eingestuft. Eigentliche Quellversuche wurden keine durchgeführt.

Anders verhält es sich natürlich mit dem Künschter Bentonit, der im Normalfall praktisch ausschliesslich aus dem quellfähigen Tonmineral Smektit besteht. Da diese Lage jedoch nur ca. 10 bis 15 cm dick ist und sich zum Teil mehrere Meter mächtige, eingeschaltete Sandsteinbänke auf die Gesteinsabfolge insgesamt «armierend» auswirken, würde sich das Quellverhalten der Bentonit-Lage nur in speziellen Expositionen wie beispielsweise in Sohlage bemerkbar machen. Mit Ausnahme der Kammer im Bereich Schacht Lätten, wo sich der Bentonit-Horizont im Sohlbereich befindet, dort jedoch stark verschwemmt und mit detritischem Material durchmischt ist, liegt der Bentonit-Horizont jeweils in der oberen Tunnelhälfte, so dass die Gefahr von Sohlhebungen für diesen Tunnel als nicht relevant eingeschätzt wurde.

## 6. Erfahrungen aus der Begleitung des Tunnelvortriebs

Der geologische Befund stützt sich in erster Linie auf die zahlreichen Ortsbrustaufnahmen, welche während des TBM- resp. Sprengvortriebs gemacht wurden. Die Erfahrungen haben überraschenderweise gezeigt, dass im Vergleich zum Sprengvortrieb beim TBM-Vortrieb eher detailliertere Aufnahmen möglich sind, dies nicht zuletzt wegen der Möglichkeit, die Ortsbrust vor dem TBM-Rad direkt und über den ganzen Querschnitt aufzunehmen. Dies war dank der guten Standfestigkeit der Ortsbrust und der zumeist stabilen Verhältnisse gut möglich. Dabei hat es sich bewährt, den so genannten «Geologenhub» fest in den Bauablauf zu integrieren, was hauptsächlich während der Unterhaltsschicht in der Nacht ohne grosse Behinderung für die Unternehmung möglich war. Beim «Geologenhub» wurde jeweils rund 40 cm weiter als üblich vorgetrieben, damit das TBM-Rad nach dem Einbau des letzten Tübbingrings um diese Strecke wieder zurückgezogen werden und der Geologe im Zwischenraum zwischen TBM-Rad und Ortsbrust am Sicherungsseil die geologischen Aufnahmen machen konnte. Als wesentlichster Faktor für die Arbeitssicherheit erwies sich die Stabilität der Ortsbrust und des Firstbereichs, welche vor dem Ausstieg vor das TBM-Rad jeweils beurteilt werden musste.

Beim Sprengvortrieb musste die Ortsbrust jeweils aus Sicherheitsgründen aus einer sicheren Distanz beurteilt werden, da zum Zeitpunkt der Aufnahme nebst der eigentlichen Ortsbrust auch der First über die ganze Abschlagslänge noch ungesichert war.

Betreffend der Häufigkeit der geologischen Aufnahmen hat es sich bewährt, nicht nach einem fixen Schema vorzugehen, sondern die Häufigkeit der Aufnahmen unter anderem aktuellen Fragestellungen anzupassen. Dank der zahlreichen geologischen Aufnahmen und des flachen und ungestörten



Schichtverlaufs entlang der Trasse konnten so einzelne Schichten wie erwähnt über hunderte von Metern – ausnahmsweise sogar über Kilometer – verfolgt werden.

Der Bau des neuen Tunnels zwischen Zürich und Thalwil forderte alle Beteiligten stark heraus. Auch wenn hier über vergleichsweise «ruhige» geologische Randbedingungen in der Molasse berichtet wurde, so ist das gesamte Projekt hinsichtlich Komplexität und Anforderungen an die Planer und Ausführenden als äusserst anspruchsvoll zu taxieren und fand auch internationale Beachtung: Bauen im Lockergesteinsgrundwasserträger bei geringer Überdeckung, Tunnelvortrieb im stark überbauten städtischen Gebiet, Vortrieb im Fels bei geringer Überdeckung sind nur einige Stichworte. Durch den laufenden Einbezug des Geologen und seiner Erkenntnisse aus der Begleitung des Tunnelvortriebs in die Entscheide bei der Bauausführung konnten auch schwierige Situationen (z.B. beim Lockergesteinsvortrieb) erfolgreich gemeistert werden. Angesichts der Weltrekord-Vortriebsleistungen der TBM (40.8 m/Tag) war der Geologe – zumindest hinsichtlich Präsenzzeiten und Aufnahmevermögen – auch im Molassefels herausgefordert.

## Literatur

- Felber, P. 1990: Zürichbergtunnel: Geologischer Befund. In: Projektierung und Bau der S-Bahn Zürich. Hrg. R. Fechtig & M. Glättli; Stäubli Verlag, Zürich, 80-83.
- Freimoser, M. 1998: Die Geologie im Bereich des Zimmerberg-Basistunnels Zürich-Thalwil. In: Mitt. Schweiz. Ges. für Boden- und Felsmechanik, Heft Nr. 137, 25-28.
- Gubler, Th. 1987: Zur Geologie der Oberen Süsswassermolasse zwischen Zürich und Zug. Unpubl. Diplomarbeit, ETH Zürich, 78 S.
- Gubler, Th., Meier, M. & Oberli, F. 1992: Bentonites as time markers for sedimentation of the Upper Freshwater Molasse: Geological Observations corroborated by high resolution single-zircon U-Pb ages. Jahresversammlung der SANW in Basel, Abstracts 172, 12-13.
- Pavoni, N. 1957: Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel. Vjschr. naturf. Gesellsch. Zürich, 102/5, 117-315.
- Pavoni, N. 1960: Zur Entdeckung des Küssnachter Bentonit-horizontes im unteren Sihltal. Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing., 26/71, 37-40.
- Pavoni, N. & Schindler, C.M. 1981: Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse und damit zusammenhängende Probleme. Eclogae geol. Helv. 74/1, 53-64.
- Rey, R. & Egli, D. 2000: Bahn 2000 Zürich-Thalwil – Ein anspruchsvoller Tunnel im Lockergestein und Fels. Felsbau, 18/3; Verlag Glückauf, Essen, 40-49.