

## **Tunnel der HL-AG an der Westbahnstrecke Melk-Wachberg und Wienerwald**

**FÜRLINGER, W., STADLMANN, T.**

Anhand von zwei Tunnelbauprojekten – eines fertig gestellten (Melk-Wachberg) und eines in der Planungsphase befindlichen (Wienerwald) - wird von den jeweils auftretenden baueologischen Aufgaben berichtet. Baueologische Dokumentation und Baubetreuung einerseits - geologische Vorerkundung und baueologische Prognose andererseits.

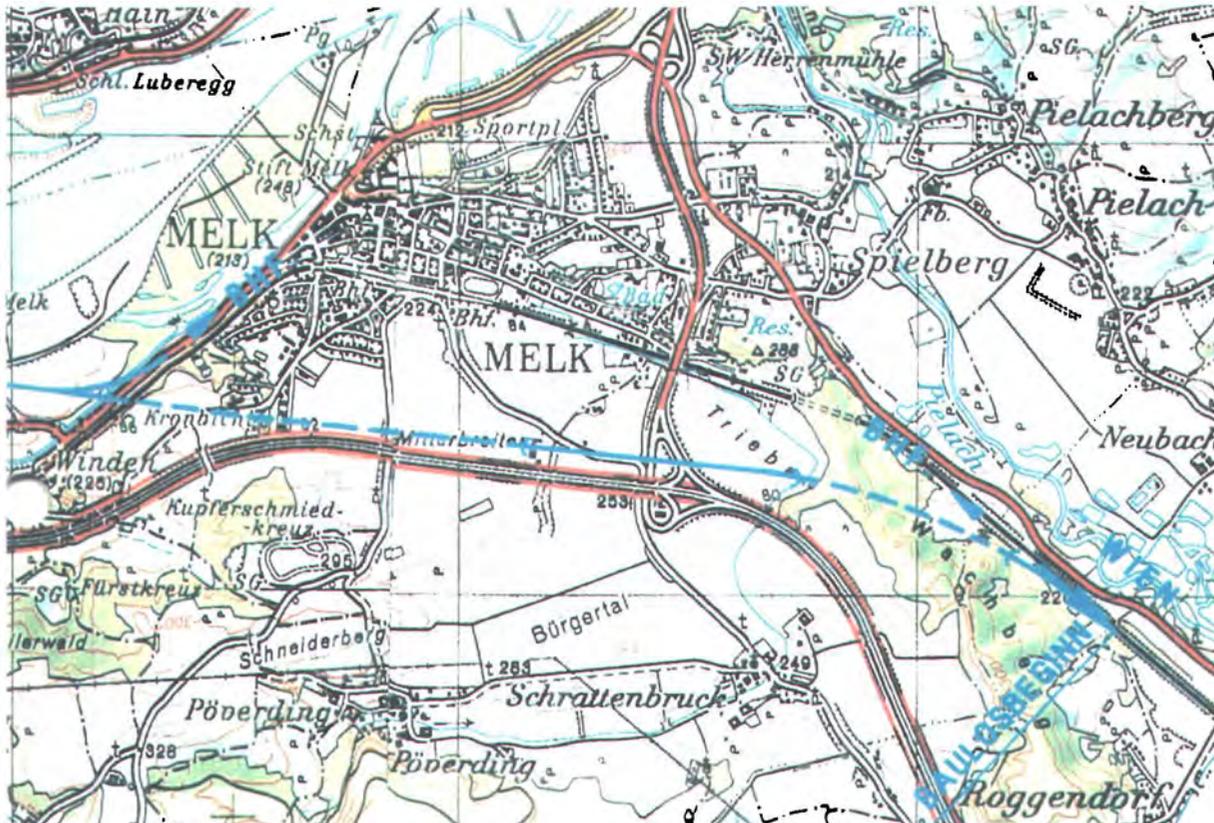
Dem Vorstand der HL-AG, Herrn Dir. Dr. G. M. VAVROVSKY sei an dieser Stelle für sein Interesse an der geologischen Arbeit und seine Zustimmung zur Publikation der Ergebnisse gedankt.

### **Teil 1: TUNNEL MELK und WACHBERGTUNNEL**

(Dr. Werner FÜRLINGER)

Das ZT-Büro Dr. FÜRLINGER war von 1996-1998 mit der baueologischen Betreuung (Dokumentation, fachliche Bauberatung) der beiden Tunnel von der HL-AG betraut. Es wird über Erfahrungen berichtet, die während der Tunnelvortriebe im Bereich der Diendorfer Störung im Tertiär (Melker Sande, Pielacher Tegel) und im Kristallin der Böhmisches Masse gemacht wurden.

Mit den beiden, zur Eisenbahnumfahrung Melk gehörigen Tunnelbauwerken "Melker Tunnel" (Länge 1,8 km) und "Wachbergtunnel" (Länge 1,0 km) wird die früher durch die Stadt Melk (Bahnhof) geführte Westbahnstrecke nun von den Schnellzügen abgekürzt. Am beigeschlossenen Lageplanausschnitt ist die alte und die neue Linienführung zu erkennen. Beide Tunnel sind als zweigleisige Tunnelröhren mit dem in Österreich üblichen Querschnitt für Hochleistungsstrecken errichtet worden.



**Abbildung 1-1:** Kartenausschnitt mit der alten und neuen (blaue Linie) Trassenführung

## GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Das Projektsgelände liegt nahe der Donau im südöstlichsten Teil der Böhmisches Masse. Sanfte Höhenrücken (Höhen bis zu 600 m) und dazwischen liegende flachwellige Talungen (Höhen zwischen 250-350 m) prägen die Landschaft. Nordwestlich von Melk schließt die hier bis zu 1,5 km breite Donauniederung (Höhenlage ca. 210 m) an.

Im Bereich des Hiesberges und des Dunkelsteiner Waldes steht der **kristalline Felsuntergrund der Böhmisches Masse** an. Dieser besteht in der Umgebung des Projektsgeländes vorwiegend aus Paragneisen, Migmatitgneisen, Amphibolitgängen und lokal aus Granitgneisen und Graniten.

Die zwischen den Kristallinauftragungen liegenden tieferen Bereiche wurden während der Transgression des Molassemeeres im Tertiär (Oligozän; vor ca. 30 Mio. Jahren) verfüllt. Im unteren Oligozän wurde zunächst der Abtragungsschutt des kristallinen Rumpfgebirges in limnisch-terrestrischer Fazies abgelagert. Danach kam es zur Ablagerung von zunehmend feinkörnigen, brackischen bis marinen Sedimenten, die als **Pielacher Tegel** bezeichnet werden. Diese enthalten lagenweise hohe organische Anteile, die sich in einer dunkelgrauen bis schwarzen Färbung sowie lokal in Form von Kohlebildungen äußern. Auch fossilreiche Bänke treten auf. Über den Pielacher Tegeln folgt mit einer neuerlichen Transgressionsphase der **Melker Sand**.

Die sedimentpetrografischen Merkmale weisen den Melker Sand als Ablagerung des marinen Küstenbereiches, sowohl der Spritzwasser- als auch der Brecherzone aus. Die Gesamtmächtigkeit der Sandablagerungen beträgt mehr als 200 m. Sandige Kieshorizonte aus dem Quartär sowie eine Deckschicht aus Löss und jungen Alluvionen bilden die höchsten Teile der Schichtfolge.

Die strukturelle Situation wird von der NE-SW streichenden **Diendorfer Störung** geprägt. Diese als sinistrale Horizontalverschiebung bekannte Großstörung verläuft im Donaeinschnitt in der Wachau und setzt sich in das Tal des Melk-Flusses fort. Die Verschiebungsbeträge erreichen mehrere Zehner-Kilometer. Mittels seismischer Erkundungen und den Aufschlüssen in den Tunnelvortrieben wurde außerdem eine ausgeprägte **Grabenbruchstruktur mit NW-SE gerichtetem Streichen** erkannt.

### **WACHBERGTUNNEL**

Der Wachbergtunnel unterfährt in einer lang gezogenen Kurve den südöstlich von Melk liegenden Wachberg. Die größte Überdeckung beträgt hier nur ca. 50 m. Der Tunnel liegt zur Gänze in den "Melker Sanden", die an den Flanken des Wachberges seit jeher in Sandgruben gewonnen werden. Der kristalline Untergrund liegt im Ostteil des Tunnels nur wenige Meter unter der Tunnelsohle. Nahe des Ostportals wurde in der Sohle die Übergangszone vom Pielacher Tegel zum Melker Sand (schluffige Schichten) angetroffen.

Im Wachberg befindet sich übrigens eine der größten Stollenanlagen, die in den Jahren 1944/45 von Häftlingen für die vor Luftangriffen geschützte Herstellung von Kriegsgütern angelegt worden war. Die unter dem Decknamen "Projekt Quarz" geführte Anlage, die noch relativ gut erhalten ist, konnte besichtigt werden und gab wichtige Hinweise über das Verhalten des Melker Sandes unter Tage.

Der Voreinschnitt beim Westportal des Wachbergtunnels zeigt die charakteristischen Eigenschaften des Melker Sandes.

Der hellgraue bis gelbgraue Melker Sand weist vorwiegend Korngrößen im Fein- bis Mittelsandbereich auf und besteht hauptsächlich aus Quarz, untergeordnet finden sich auch Feldspäte und Glimmerschüppchen. Die Körner sind meist schlecht gerundet und sind untereinander gut verzahnt. Der Melker Sand ist nicht zementiert, das heißt, die Porenräume sind nicht ausgefüllt und die Einzelkörner sind nicht miteinander durch ein Bindemittel verkittet. Er ist im Wesentlichen durch das Eigengewicht und den Verlust des Porenwassers mechanisch stark verdichtet, sodass vom "verfestigten Melker Sand" gesprochen werden kann. Diese Scheinkohäsion ermöglicht steile Böschungsneigungen in der Natur.

Die Ablagerung erfolgte nahezu horizontal, es kommen aber auch häufig Schräg- und Kreuzschichtungen vor. Diese Texturen werden oft durch unterschiedliche Verwitterungsfärbungen (Gelb- und Brauntöne) deutlich hervorgehoben. In dem generell fossilarmen Sediment kommen lokal Anhäufungen von Schalenresten vor. Ein besonders auffällig ausgeprägter bis zu 1,5 m starker dunkelbrauner "Muschelschillhorizont", der von bunten Oxidationsbändern begleitet war, konnte während des Vortriebes als Leithorizont verfolgt werden.

Im Melker Sand sind in verschiedenen Horizonten häufig kugelförmige bis fladenförmige verhärtete **Konkretionen** anzutreffen. Sie erreichen Durchmesser bis zu mehreren Metern und Höhen bis zu 1 m. Im Vortrieb, der generell mit einem Tunnelbagger bewerkstelligt werden konnte, wirkten sich diese mit Kalziumkarbonat gebundenen, sehr harten Sandknollen störend aus. Sie mussten örtlich gesprengt werden.



**Abbildung 1-2:** Wachbergtunnel Westportal  
Voreinschnitt in hellgrauen bis gelbgrauen Melker Sanden. Auffällig sind die horizontgebundenen verhärteten Konkretionen.



**Abbildung 1-3:** Konkretionen  
Aus dem Vortrieb geborgene Konkretionen mit Ausmaßen bis zu mehreren Metern. In ihren Formen erinnern manche an Skulpturen von Henry Moore.

In den verfestigten Melker Sanden wurde eine Reihe von Gefügeflächen angetroffen. Die meist sählig liegenden bzw. flach gegen E bis SE einfallenden Schichtflächen waren meistens lediglich an Farbunterschieden erkennbar und hatten gebirgs-mechanisch keine Auswirkungen.

Auffällig waren Großklüfte und Störungen, die oft in konjugierten Scharen auftraten und gegenüber der Umgebung aus noch stärker verfestigtem Zerreibsel bestehen. An der Geländeoberfläche werden ihre Spuren von der Verwitterung nicht selten als Grate freigelegt. Sie können als Produkte tektonischer Ereignisse, als Scherbahnen interpretiert werden. Auf das Ausbruchverhalten hatten sie keinen negativen Einfluss.



**Abbildung 1-4:** Melker Sand im Wachberg Tunnel (Kalotte)

Die horizontaler Schichtung ist an verschiedenen Oxidationsfarben erkennbar. Verfestigte Scherflächen durchziehen die Ortsbrust ohne mechanische Wirksamkeit. Versetzung von Sandbänken im dm- bis m-Bereich. Der Vortrieb wurde mit einem Tunnelbagger bewerkstelligt. Die Kalotte wurde mit bewehrtem Spritzbeton, Tunnelbögen, Ankern und einem temporär eingebauten Sohlgewölbe gesichert.



**Abbildung 1-5: Melker Sand im Melker Tunnel (Strosse)**

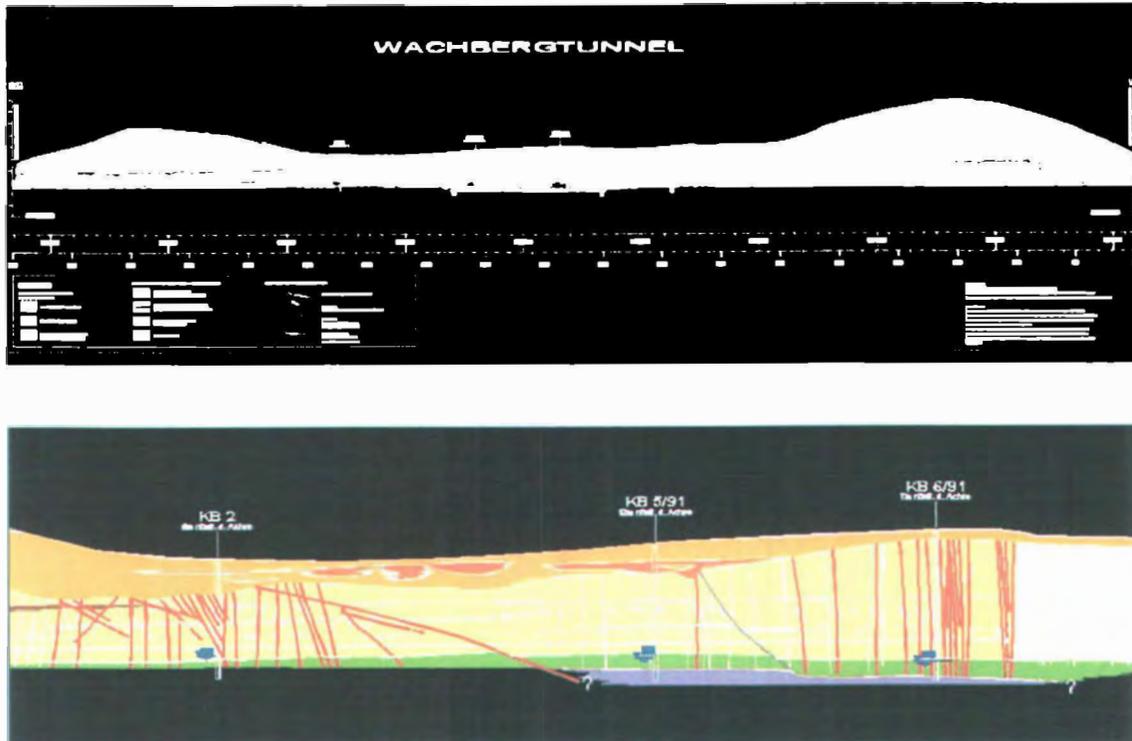
*Die Bankung ist an verschiedenen Farbtönen (gelb, ocker, braun) erkennbar. Oxidationsflecken, Schrägschichtungen sind weitere Merkmale des Melker Sandes.*

Wesentlich ungünstiger im Hinblick auf die Gebirgsfestigkeit und das Ausbruchverhalten wirkte sich eine Gruppe von geöffneten, bis zu mehrere Zentimeter klaffenden Großklüften und Störungen aus. Diese Trennflächen standen meist senkrecht, ihr Verlauf im Grundriss ist spitzwinkelig schleifend bis parallel zur Tunnelachse orientiert (Kartenausschnitt; Abb. 1-7). An diesen häufig mit Sand gefüllten Klüften drangen Baumwurzeln von der Geländeoberfläche bis zu 30 m tief in den Berg ein. Vertikale Versetzungen charakteristischer Bänke bis zu 2 m, meist in der Art von staffelförmigen Abschiebungen Richtung N bis NE waren an diesen Störungsbündeln zu beobachten (Abb. 1-9).

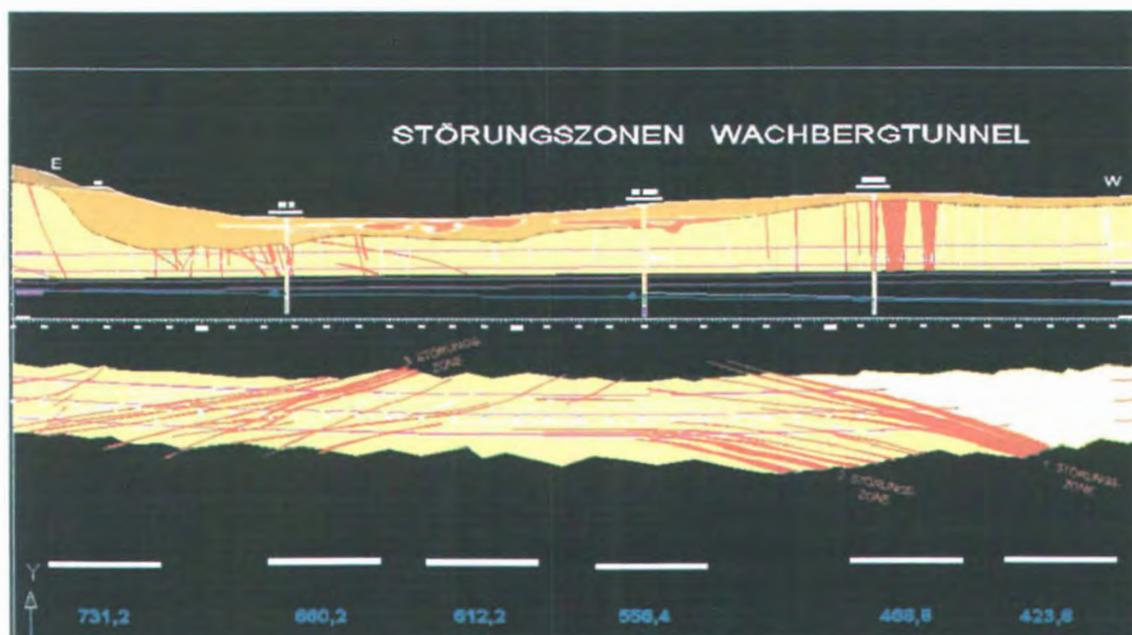
Drei derartige Störungszonen traten im Wachberg in dem ca. 300 m langen Tunnelabschnitt von Station 450 – 750 m auf (Abb. 1-7, 1-8). Im Bereich der 5-10 m starken Störungszonen war der Melker Sand weitgehend entfestigt und erforderte aufwändige Stützmaßnahmen in der Kalotte.

Aufgrund der geringen Standzeit der unverfestigten Sandfüllungen sowie der stark durchtrennten Bereiche wurde die Kalotte hier oftmals in Teilflächen mit sofortiger Brustsicherung (Spritzbeton, Brustanker) unter Belassen eines Brustkernes zur Ortsbruststützung vorgetrieben (Abb. 1-8).

Der Ausbruch war in einen Kalottenvortrieb mit nachgezogenem Strossenvortrieb unterteilt.



**Abbildung 1-6:** Schnitte durch den Wachbergtunnel  
Geologischer Längsschnitt durch den Wachbergtunnel und Detail aus dem stark gestörten Abschnitt (450-750 m).



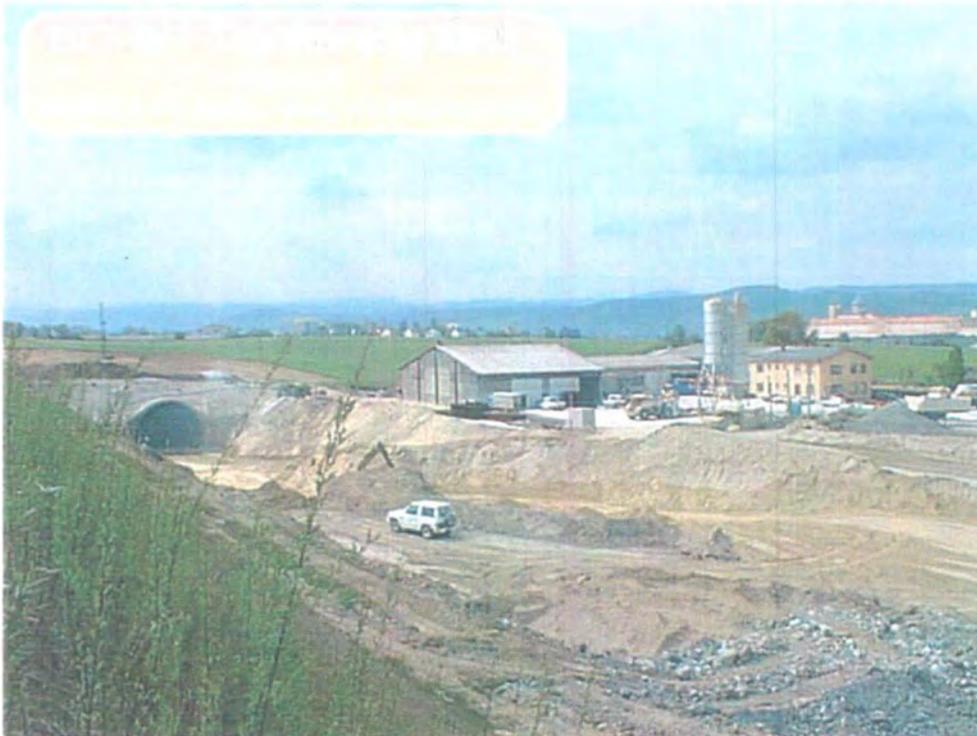
**Abbildung 1-7:** Wachbergtunnel, stark gestörter Bereich (450-750 m)  
Im Grundriss ist der Verlauf der steil stehenden Störungszonen erkennbar. Die Gebirgsauflockerung wurde durch vortriebsbegleitende geophysikalische Messungen und Vorausbohrungen auch über der Tunnelfirste nachgewiesen. Sie erforderte spezielle Vortriebs- und Stützmaßnahmen. Baumwurzeln waren von der Geländeoberfläche bis in den Tunnelquerschnitt vorgedrungen.



## MELKER TUNNEL

Der Melker Tunnel durchörtert die gesamte im Projektgebiet vorhandene Schichtfolge, vom kristallinen Untergrund der Böhmisches Masse über die tertiären Molasseablagerungen bis zu den jungen Deckschichten des Quartärs.

Nachdem der Melker Sand bereits beim Wachbergtunnel ausführlich charakterisiert wurde, legen wir hier das Augenmerk vor allem auf das Kristallin und die Pielacher Tegel.



**Abbildung 1-10:** Baustelle des Melker Tunnels (Ostportal)

*Ein Teil des Ostabschnittes wurde wegen der geringen Überdeckung in Deckelbauweise errichtet. Das Portal liegt im Melker Sand, der von Löss überdeckt ist. Im Hintergrund die alte Meierei des Stiftes Melk, die als Baubüro genutzt wurde.*

Der Ostabschnitt des Melker Tunnels wurde teilweise im Löss und in den quartären Kiesen, zum überwiegenden Teil jedoch im Melker Sand vorgetrieben. Im Vergleich mit den Verhältnissen im Wachbergtunnel wies der Melker Sand hier eine wesentlich geringere Durchtrennung und insgesamt günstigere Gebirgsverhältnisse auf. In einem ca. 500 m langen Teil des Tunnels erfolgte der Vortrieb unterhalb des Ruhegrundwasserspiegels. Dieser wurde mit Hilfe von Brunnen, die vorauseilend von der Oberfläche niedergebracht worden waren, vorher abgesenkt.

Im Mittelteil des Tunnels wurden die inhomogenen und feinanteilreichen, steifplastischen Pielacher Tegel durchörtert, die schichtweise gespannte Grundwässer führten. Die Schichtwässer wurden mit Vakuumanlagen, die mit dem Vortrieb mitgeführt wurden, ständig abgesaugt, um Schwimmsandbildungen und Grundbrüche in der Sohle zu vermeiden.

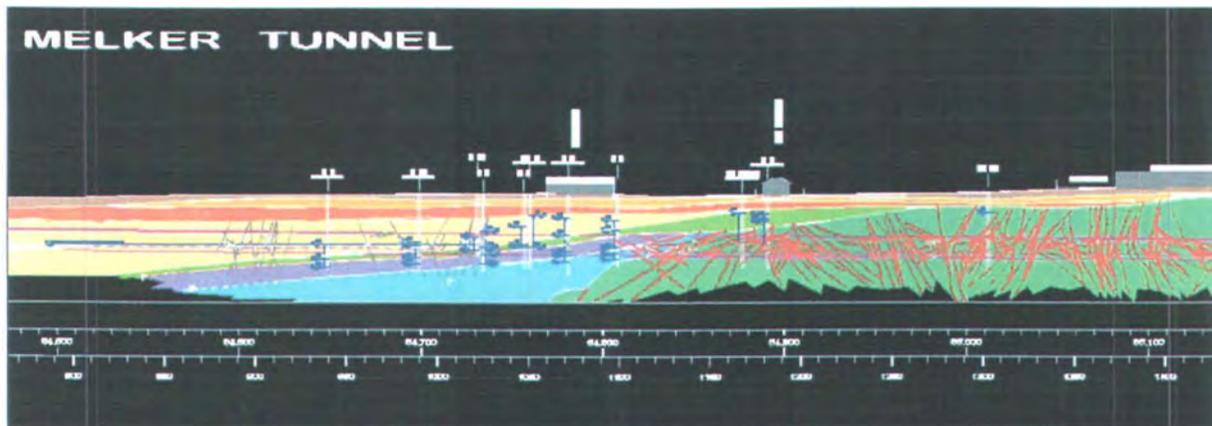
Entsprechend der mit 10° bis 15° gegen E bis NE einfallenden Lagerungsverhältnisse wurden die Pielacher Tegel in dem von Ost gegen West fortschreitenden Vortrieb vom Hangenden zum Liegenden aufgefahren.

An der Basis des Melker Sandes erschien ab Station 960 m die **Übergangszone vom Pielacher Tegel zum Melker Sand** mit einer Stärke von ca. 4-5 m im Tunnelquerschnitt. Die Schichten enthalten unter einem 5-10 cm starken kiesigen Horizont vorwiegend orange farbene bis braune und graue, sandige flaserige Schlufflagen.

Ab Station 1025 m folgten, von der Sohle ansteigend, die dunkelgrauen bis schwarzen Schluff-Tonschichten des **Pielacher Tegels**. Der Tegel enthält hier auch dunkelgrün-graue, tonige, teilweise auch sandige Schluffe und orangebraune Sandlagen von einigen dm Stärke. Die Konsistenz der Feinkornsedimente ist im bergfeuchten Zustand vorwiegend halbfest bis steif. Kennzeichnend sind die schichtweise gehäuft vorhandenen, meist weißen Fossilschalen von Schnecken und Muscheln. In dm-starken Bänken tritt "Muschelschill" auf (Abb. 1-15)

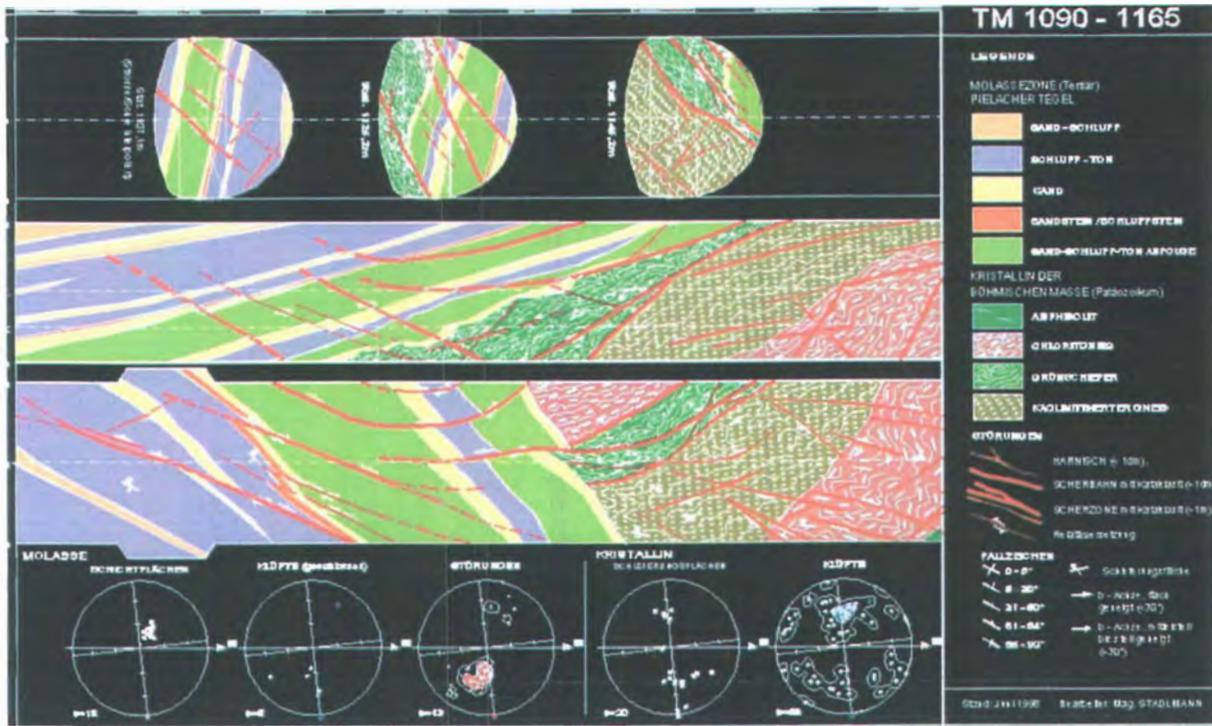
Im Liegenden des Tegels wurden ab Station 1080 m die stark wechselhaften Ablagerungen der Pielacher-Tegel-Basis aufgefahren.

Bei ca. Station 1115 m wurde in der Sohle das entfestigte Kristallin der Böhmisches Masse in Form von entfestigten Paragneisen und Grünschiefern mit Lockermaterial ähnlichen Festigkeitseigenschaften angetroffen. Die Kristallinoberfläche wurde hier tektonisch durch Störungen geformt und verläuft stufenförmig und kuppiert (Abb. 1-11, 1-12).



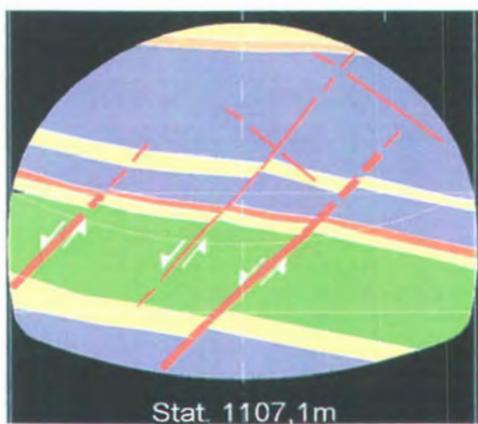
**Abbildung 1-11:** Die Transgression der Melker Formation auf das Kristallin der Böhmisches Masse im Melker Tunnel.

In jenem Bereich, wo das Kristallin erstmals angetroffen wurde, verläuft eine ausgeprägte Scherzone, die auch zu Versetzungen in den darüber liegenden tertiären Schichten geführt hat. Dies kam während des Vortriebs in detailreichen, tektonisch komplizierten Brustbildern zum Ausdruck (Abb. 1-13, 1-14, )



**Abbildung 1-12:** Übergang der Melker Formation zum Kristallin der Böhmisches Masse in der baugelologischen Dokumentation

Tunnel Melk:  
Brustbilder



Pielacher Tegel  
Kristallin

**Abbildung 1-13:** Charakteristische Brustbilder im Bereich der gekippten gestörten Pielacher Tegel



**Abbildung 1-14:** Basisschichten der Pielacher Tegel  
Intensiv oxidierte (wasserführende) sandige Lagen und dunkelgraue tonig-schluffige Lagen kennzeichnen die Pielacher Tegel-Basis. Verwerfungen im Bereich einer Scherzone.



**Abbildung 1-15:** Pielacher Tegel, tonig-schluffige Ausbildung mit fossilreichen Bänken.

Der Westabschnitt des Tunnels durchörtert den kristallinen Felsuntergrund auf einer Länge von ca. 700 m. In diesem Bereich wurde in einem 300 m langen Abschnitt eine Störungszone angetroffen, die parallel zur Diendorfer Störung verläuft. Die Gesteine der Störungszone waren stark alteriert, zerschert und häufig entfestigt. Bereichsweise wurden hohe Gehalte an quellfähigen Tonmineralien (bis zu 40% Montmorillonitgehalt am Gesamtgestein; z. B. in zerscherten Grünschiefern) festgestellt. Dies führte zur Entscheidung, ein verstärktes Sohlgewölbe einzubauen. Westlich der Störungszone besteht das Gebirge aus Gneisen höherer Festigkeit. Es wies günstigere Bedingungen für den Tunnelvortrieb auf.

Während die quartären Ablagerungen (Löss, Kies), der Melker Sand und die Pielacher Tegel sowie Teile des entfestigten Kristallins mit dem Tunnelbagger mechanisch gelöst werden konnten, musste im kompakten Kristallin Sprengvortrieb eingesetzt werden. Wegen der geringen Überdeckung und der an der Geländeoberfläche befindlichen Bebauung (Tennishalle, Wohnhäuser) mussten die Sprengerschütterungen durch entsprechende Vorkehrungen (Reduktion der Lademengen, spezielles Sprengschema; Erschütterungsmessungen) in den zulässigen Toleranzgrenzen gehalten werden.

Der Ausbruch wurde in einen Kalottenvortrieb (mit Kalottensohlgewölbe) und einen nacheilenden Strossenvortrieb unterteilt. Die Sohle wurde separat ausgebrochen.

Die vom ZT-Büro Dr. FÜRLINGER ausgeführten baueologischen Arbeiten vor Ort erstreckten sich über die gesamte Dauer der Vortriebstätigkeit von Juni 1996 bis Juni 1998 im Durchlaufbetrieb. Bei beiden Tunnelvortrieben wurden im Zuge der Bautätigkeit in Folge neuer Erkenntnisse, die durch den Vortrieb bzw. durch Pegelbohrungen für das Grundwasserabsenkungsfeld gewonnen wurden, seismische Untersuchungen (Fa. TAUERNPLAN GEOPHYSIK) durchgeführt. Die seismischen Messungen wurden als zusätzliche Aufgabe vom Baueologen koordiniert und baueologisch ausgewertet. Mit Abschluss des Sohlvortriebes im Melker Tunnel Ende Juni 1998 war die Tätigkeit der Baueologie beendet.

Von beiden Tunneln liegt eine als CAD-Zeichnungen ausgefertigte Dokumentation im Maßstab 1:200 vor, die in Form eines baueologischen Tunnelbandes (Wachbergtunnel 5 Pläne, Melker Tunnel 10 Pläne) die geologischen Verhältnisse im Grundriss und im Längsschnitt zeigt. Die Dokumentation enthält auch charakteristische Brustbilder, Gefügediagramme, Angaben über den Gebirgscharakter (Durchtrennung, Verwitterung, Öffnungsweiten von Trennflächen) sowie hydrogeologische Beobachtungen (Bergwasserzutritte). In einem technischen Teil sind Angaben über die Vortriebsart, Abschlagslängen, Ausbaufestlegungen, Gebirgsverhalten beim Vortrieb etc. enthalten. Ein in Farbe ausgeführter Ausschnitt davon ist in Abb. 1-12 zu sehen.

Durch ein enges Zusammenwirken der am Bau beteiligten Fachleute (Bauaufsicht, Geotechniker, Baueologen, Geophysiker, Vermesser, Tunnelbautechnischer Sachverständiger) und den nach den vom Bauherrn festgelegten rigiden Regeln durchgeführten laufenden Informationsaustausch konnten die beiden Tunnelvortriebe auch in den geotechnisch schwierigen Abschnitten unter den Bedingungen geringer Überlagerung ohne schwerwiegende Probleme erfolgreich ausgeführt werden.

## Teil 2: WIENERWALDTUNNEL

(Mag. Thomas STADLMANN)

Der Wienerwaldtunnel ist Bestandteil der von der Eisenbahn-Hochleistungsstrecken AG (HL-AG) geplanten Neubaustrecke zwischen Wien und St. Pölten. Ein kurzer Abschnitt des Tunnels liegt im Bundesland Wien, der größere Anteil im Bundesland Niederösterreich. Aufgrund der geographischen Situation wird das Tunnelprojekt von zwei Projektleitungen der HL-AG abgewickelt. Der Wiener Anteil des Tunnels wurde aus verfahrenstechnischen Gründen in das Projekt "LAINZER TUNNEL" integriert. Das eigentliche Projekt "**WIENERWALDTUNNEL**", über das nachfolgend berichtet wird, beginnt somit „mitten im Berg“ im Bereich der Landesgrenze zwischen Wien und Niederösterreich.

Bereits seit Anfang der 90er Jahre sind Planungs- und Erkundungsarbeiten für das Tunnelbauvorhaben im Gang. Seit 1997 liegt die Umweltverträglichkeitserklärung und seit Ende 2000 die eisenbahnrechtliche Bewilligung vor. Die baugelogeische Bearbeitung erfolgte bis zur UVE durch Prof. WEISS und Mitarbeiter und von 1998 bis 2001 durch eine ARGE Prof. WEISS und Büro FÜRLINGER. Die geotechnische und hydrogeologische Bearbeitung wurde durch BGG (Büro WAIBEL) durchgeführt.

Im Folgenden werden die bisher durchgeführten baugelogeischen Erkundungsarbeiten, deren Ergebnisse und ihre Auswertung zusammengefasst.

### **PROJEKT**

Der Wienerwaldtunnel ist 13,2 km lang und verbindet den westlichen Stadtrand von Wien in Hadersdorf-Weidlingau (Südportal) mit dem Tullnerfeld bei Chorherrn (Nordportal). Die Trasse verläuft unter dem Höhenrücken zwischen Gablitz und Mauerbach, dessen höchste Erhebung 460 m Seehöhe erreicht. Der Tunnel ist im ca. 1,5 km langen Wiener Abschnitt als einröhriger, zwei Gleise führender Tunnel mit einem Durchmesser von 12,5 m und einem Ausbruchsquerschnitt von ca. 120 m<sup>2</sup> geplant. Kurz nach der Landesgrenze ist im niederösterreichischen Teil eine trompetenförmige Aufweitung vorgesehen, ab welcher der Tunnel in zwei eingleisige Röhren mit einem Durchmesser von jeweils 9 bis 10 m (abhängig von der gewählten Vortriebsmethode) verläuft. Die beiden Röhren weisen einen Achsabstand von 31 m auf und sind alle 500 m mit Querschlägen verbunden.

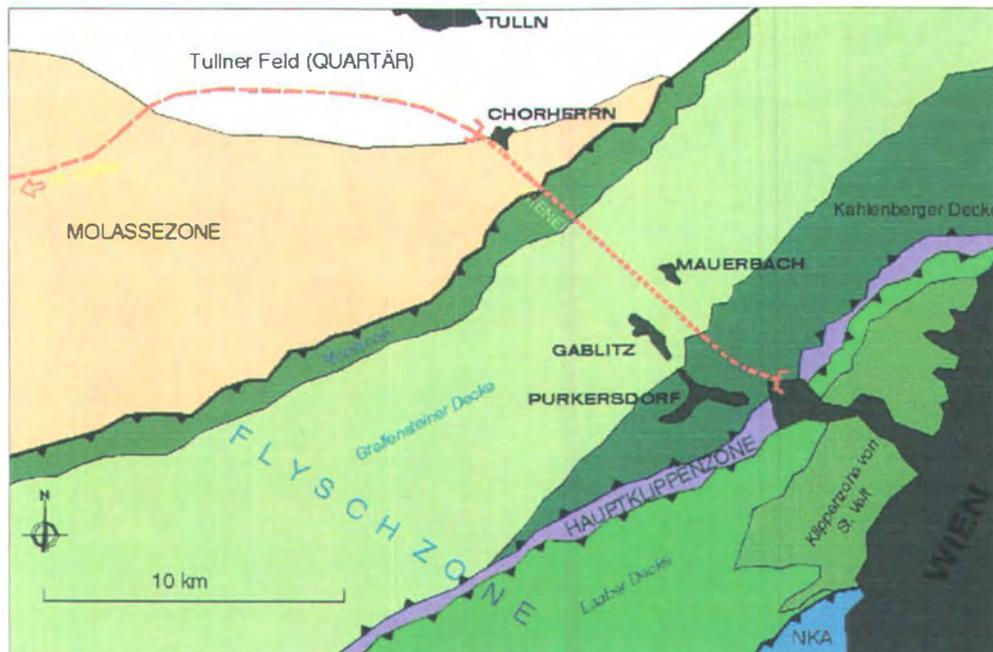
Diese zweiröhrige Systemvariante wurde aus Sicherheitsgründen im Betrieb gegenüber einem einröhrigen System vorgezogen. Nahe des Nordportals bei Chorherrn, am Rand des Tullnerfeldes, werden die beiden Tunnelröhren wieder zusammengeführt.

Im Zuge der Planungs- und Erkundungsarbeiten wurden für den späteren Tunnelausbruch sowohl ein möglicher konventioneller Vortrieb, als auch ein maschineller mittels TBM (für die eingleisigen Röhren) berücksichtigt. Eine zukünftige Ausschreibung soll Angebote für beide Vortriebsmethoden ermöglichen, wobei der Einsatz einer Schildmaschine im erforderlichen Durchmesser von 10 m in Österreich ein Novum darstellen würde. Neben dem Hauptbauwerk ist zusätzlich die

Errichtung mehrerer, bis zu 200 m tiefer Belüftungsschächte sowie der Vortrieb von Zufahrts- oder Schutterstollen erforderlich.

### **GEOLOGISCHE RAHMENBEDINGUNGEN**

Der geologische Aufbau des Projektgebietes in Niederösterreich umfasst zwei große geologische Einheiten. Im südöstlichen, ca. 9,3 km langen Abschnitt wird die **FLYSCHZONE** des Wienerwaldes durchörtert, im etwa 2,3 km langen nordwestlichen Abschnitt führt der Tunnel durch die **MOLASSEZONE**.



**Abbildung 2-1:** Geologische Übersichtskarte der weiteren Umgebung des Projektgebietes

### **FLYSCHZONE**

Die **Flyschzone** ist im Bereich des Wienerwaldes die nördlichste tektonische Einheit der Ostalpen und 15-20 km breit. Die Flyschgesteine sind aus Sedimenten entstanden, die während der Gebirgsbildung der Alpen in der Kreidezeit bis ins Tertiär (vor ca. 100 bzw. 45 Mio. Jahren) in einem Meerestrog abgelagert und in der Folge diagenetisch verfestigt wurden. Es handelt sich im Wesentlichen um Sandsteine, Tonsteine und Mergelsteine.

Die Flyschgesteine sind im Zuge der Alpenbildung tektonisch in einzelne Decken und Schuppen zerlegt und verfaltet und nach NW auf die Molasse überschoben worden. Diese Überschiebung wurde in der Tiefbohrung Mauerbach 1 der ÖMV nachgewiesen, wo unter dem Flysch die Gesteine der Molassezone in einer Tiefe von 2300 m erbohrt wurden.

Ein schmaler, an die Überschiebung unmittelbar südlich angrenzender Streifen der Flyschzone enthält vorwiegend stark tektonisch beanspruchte Schiefertone und wird als „NORDRANDZONE“ bezeichnet. Südlich schließt die mehrere Kilometer breite GREIFENSTEINER DECKE an, die intern wieder in 4 tektonische Schuppen zerlegt ist. Die Greifensteiner Decke wird vorwiegend aus Attlengbacher Schichten und in geringerem Ausmaß aus Greifensteiner Sandstein und Gablitzer Schichten aufgebaut. Den südlichsten Abschnitt bildet im Projektgebiet die KAHLENBERGER DECKE, die im wesentlichen kalkreiche Sandsteine und Mergel der Kahlenberger Schichten enthält.

Die Decken- und Schuppengrenzen sind generell als tektonische Störungen, die meist mittelsteil bis steil nach SE einfallen, ausgebildet.

### *MOLASSEZONE*

Der im Projektgebiet vorhandene Teil der Molassezone wird auf Grund seiner tektonischen Überprägung als "subalpine Molasse" oder „Faltenmolasse“ bezeichnet. Die Gesteine wurden aus verfestigten Meeressedimenten des Jungtertiärs vor 15 – 25 Mio Jahren gebildet. Das dominierende Schichtglied im Projektgebiet ist der miozäne „Sandstreifenschlier“.

### **BAUGEOLOGISCHE ERKUNDUNG:**

Das Ziel der bisher durchgeführten baugelogischen Erkundung war, den Gebirgsaufbau hinsichtlich der vorherrschenden Gesteinsarten, deren Lagerungsverhältnisse und tektonische Überprägung möglichst so zu erfassen, dass mit hoher Prognosesicherheit die Grundlagen für die nachfolgenden Planungsarbeiten geschaffen werden.

Der mögliche Einsatz einer TBM für den Vortrieb der Tunnelröhren war bereits bei den Erkundungsarbeiten zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk wurde daher auf die Erfassung von Störungszonen und deren Aufbau – als potentiell ungünstigste Vortriebsbereiche - gelegt.

### **Geländekartierung**

Der erste Erkundungsschritt bestand in einer umfassenden geologischen Aufschlusskartierung des Projektgebietes. Morphologisch ist das Erkundungsgebiet durch sanfte Hügelformen gekennzeichnet. Die verhältnismäßig wenig verwitterungsresistenten Gesteine des Flysch und der Molasse sind größtenteils von einer mehrere Meter starken Verwitterungsschwarte und Mutterbodenschicht bedeckt. Lediglich vereinzelt tritt der Felsuntergrund – meist in Bachgräben – zutage. Insgesamt herrschten somit ungünstige Aufnahmebedingungen vor.

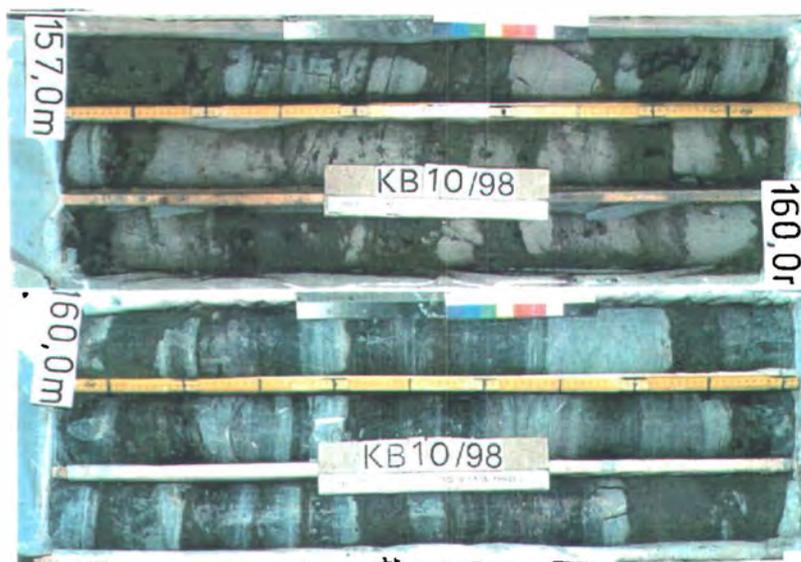
## Kernbohrungen

Auf Basis der Kartierungsergebnisse sowie des vorhandenen geologischen Kartenmaterials wurde eine erste Bohrkampagne 1995 durchgeführt und 1998 durch eine zweite Bohrphase ergänzt.

Die Kernbohrungen wurden als direkte Aufschlussmethode vorrangig in Abschnitten situiert, in denen mit problematischen Baugrundverhältnissen und geologischen Störungszonen zu rechnen war. Die Bohrungen erreichten Endteufen bis zu 280 m und wurden sowohl als Vertikal-, wie auch als Schrägbohrungen ausgeführt.

In den Bohrungen kamen Standardversuche, z.B. Wasserabpressversuche und Dilatometertests, zur Ermittlung geotechnisch relevanter Gebirgsparameter zum Einsatz.

Da gebietsweise Obertageaufschlüsse in Trassennähe völlig fehlen, wurden in einem Teil der Bohrungen die Lagerungsverhältnisse mittels **ABF** (akustischem Bohrlochfernsehen) ermittelt. Die Methode beruht auf der Messung von emittierten und von der Bohrlochwand reflektierten akustischen Signalen durch eine Sonde. Mittels EDV-Auswertung der aufgezeichneten Signale können die Spuren von Schicht- und Klufflächen in der Bohrlochwand räumlich orientiert erfasst und interpretiert werden.



**Abbildung 2-2:** Typischer Bohrkern aus Flyschabfolgen des Wienerwaldes (hier „Altengbacher Schichten“ vom Hinteren Hahnbaum aus der Greifensteiner Decke). Schichtwechsel im Zentimeter- bis Dezimeterbereich.

Aus den Erkundungsphasen von 1995 und 1998 standen insgesamt ca. 4300 Laufmeter Kernmaterial zur Verfügung. Ein Großteil der erbohrten Schichtglieder im Flysch weist den in Abb. 2-2 erkennbaren Lagenbau aus grauen Sandsteinlagen im Wechsel mit dunkelgrauen Mergel- und Tonsteinlagen auf. Diese Wechselfolge ist das charakteristische Produkt aus den Entstehungsbedingungen von Flyschgesteinen.

Die Sedimentablagerung erfolgte in Form von submarinen Trübeströmen ("turbidity currents"), wobei Sediment-Suspensionsströme unter Wasser abglitten und in tieferen Meeresbereichen wieder abgelagert wurden. Grobkörniges sandiges Material setzte sich dabei schneller ab als feinkörniges toniges Material. Dadurch entstand ein Ablagerungszyklus mit der charakteristischen Abfolge von Sandstein, Schluffstein und Tonstein.

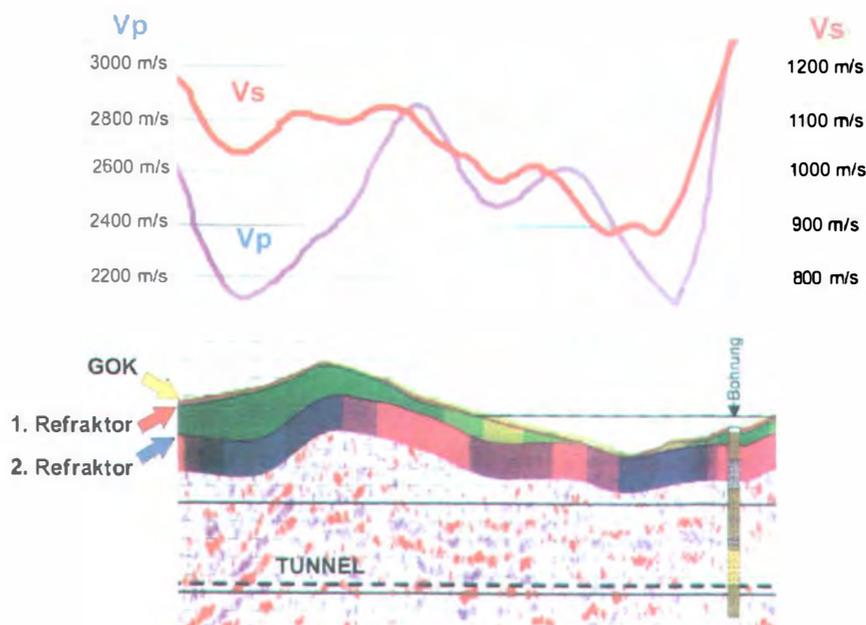
Im Zuge der geotechnischen Bearbeitung wurden durch das Büro WAIBEL anhand von Bohrkernproben umfangreiche felsmechanische Laborversuche zur Ermittlung relevanter Kennwerte durchgeführt.

## Seismik

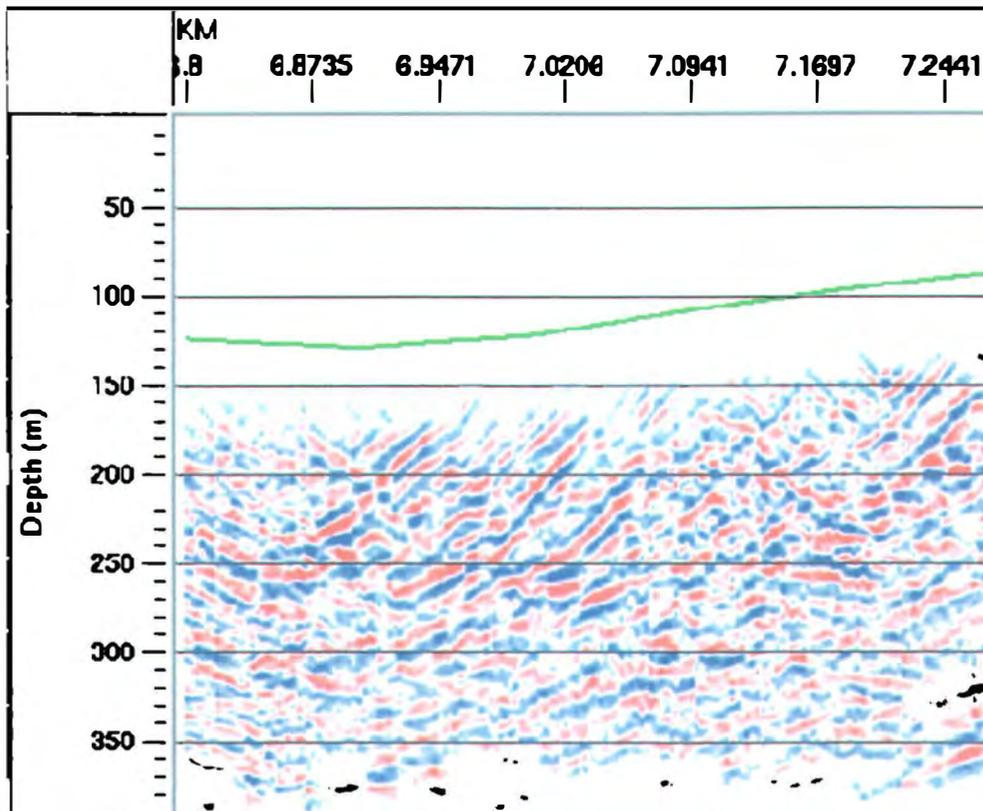
Zur Ergänzung des Bohrprogramms kamen seismische Messungen entlang der gesamten Tunneltrasse im niederösterreichischen Abschnitt zum Einsatz.

Mit dieser verhältnismäßig kostengünstigen indirekten Untersuchungsmethode konnten verbliebene Kenntnislücken zwischen Bohrungen geschlossen werden bzw. einzelne Kernbohrungen baugelogisch optimiert auf bisher nicht erkannte Störungszonen angesetzt werden.

Die seismischen Messprofile wurden sowohl refraktionsseismisch mit P-Wellen und  $S_h$ -Wellen, als auch reflexionsseismisch ausgewertet (siehe Abb. 2-3 und 2-4). Diese Messungen stellten in weiterer Folge eine wesentliche Hilfe für die Auswertung und Interpretation der Untergrundverhältnisse, vor allem im Bereich von Diskontinuitäten im Gebirgsaufbau dar.



**Abbildung 2-3:** Ergebnis der refraktionsseismischen Auswertung eines Profilabschnittes mit Lage der einzelnen seismischen Refraktoren und der gemessenen P- und  $S_h$ -Wellengeschwindigkeiten.

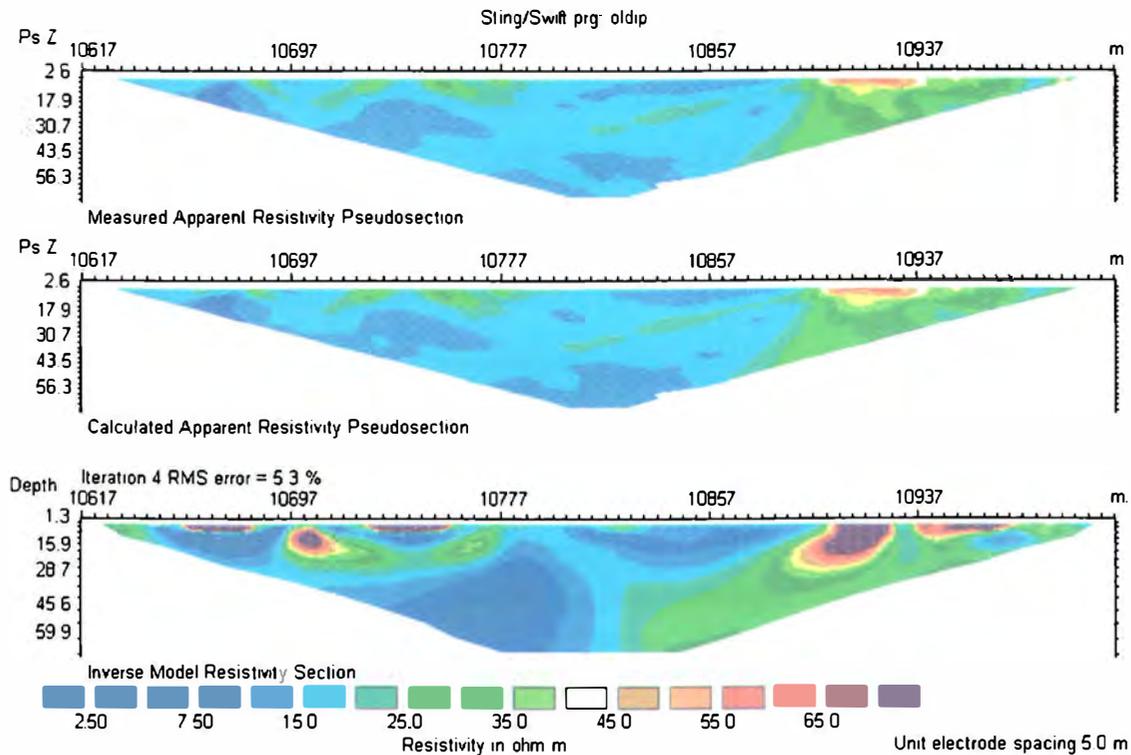


**Abbildung 2-4:** Reflexionsseismische Auswertung eines Profilabschnittes im Bereich der Greifensteiner Decke, nördlich der Straße Allhang - Mauerbach.

### Geoelektrik:

Geoelektrische Messungen wurden eingesetzt, um auf Grundlage der spezifischen elektrischen Widerstände in Abschnitten ohne direkte Aufschlüsse (Oberflächenaufschlüsse, Kernbohrungen) qualitative Unterscheidungsmerkmale zwischen sandsteinreichen und tonsteinreichen Abfolgen zu erhalten.

Die grundsätzliche Eignung dieser Messmethode zur Erkundung der im Projektgebiet vorliegenden Gebirgsverhältnisse wurde vorerst mittels eines Testprofils abgeklärt und nach positiven Ergebnissen entlang eines Großteils der Trasse eingesetzt. Im tektonisch gering beanspruchten Gebirge wiesen tonsteinreiche Flyschabschnitte in der Regel spezifische elektrische Widerstände unter ca. 10 Ohm.m, Wechselfolgen zwischen 10 und ca. 40 Ohm.m und sehr sandsteinreiche Abschnitte deutlich über 40 Ohm.m auf.



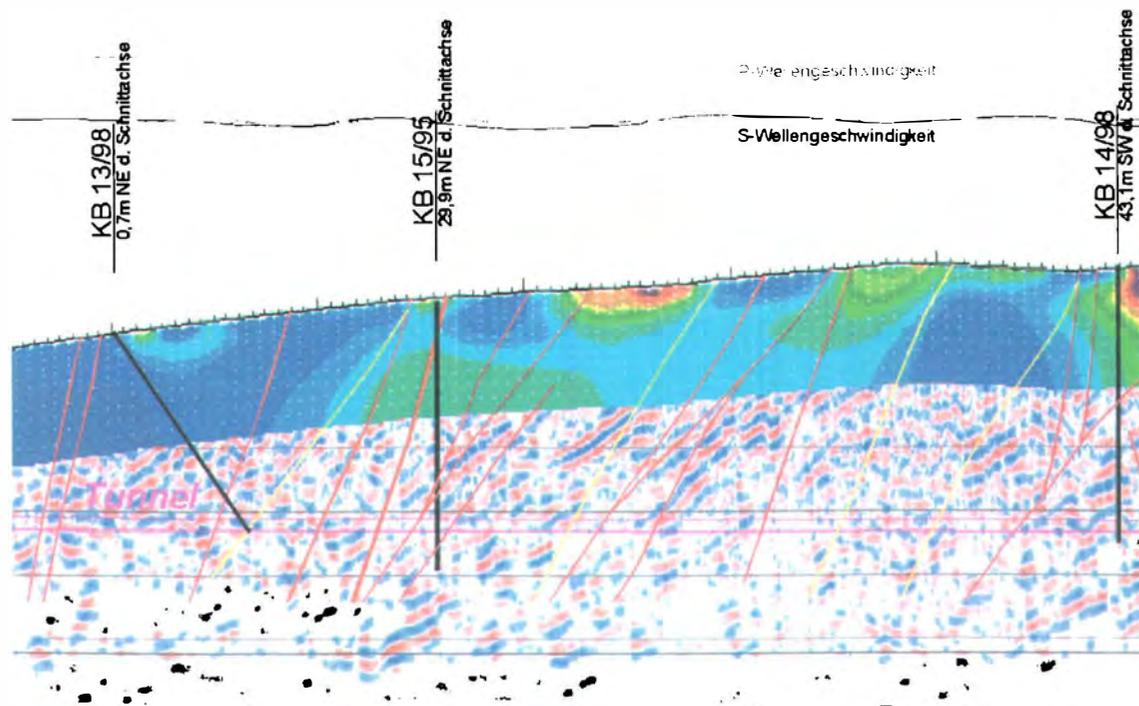
**Abbildung 2-5:** Geoelektrische Auswertung eines ca. 400 m langen Messprofils aus dem Bereich der Überschiebungsgrenze Flysch-Molasse.

### **BAUGEOLOGISCHE AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER ERKUNDUNGSERGEBNISSE MITTELS 3D-MODELL**

Die Handhabung einer derart großen Menge von baugelogischen Daten, wie sie im Zuge einer Baugrunderkundung für ein Bauvorhaben dieser Größenordnung vorliegen, stellt für die baugelogische Auswertung eine große Herausforderung dar. Mit herkömmlichen, d.h. analogen oder 2-dimensionalen Auswerteverfahren ist dieses Problem kaum zu bewältigen, vor allem wenn die abschließende Interpretation des Baugrundes allen Messergebnissen konsistent Rechnung tragen soll.

Bei der Auswertung der Daten für den Wienerwaldtunnel wurde daher ein verhältnismäßig neuer Weg beschritten. Alle Erkundungsdaten, angefangen bei der Geländekartierung über Bohrkernaufnahmen, seismische und geoelektrische Ergebnisse sowie vorhandenes Kartenmaterial wurden in ein **3-dimensionales digitales Modell auf AUTOCAD®-Basis** - erstellt von der Fa. GEO-BYTE - integriert.

Damit wurde es möglich, in den Auswertungs- und Interpretationsschritten alle Daten räumlich dort zu visualisieren und baugelogisch zu interpretieren, wo sie gemessen wurden.



**Abbildung 2-6:** Darstellung eines Gebirgsabschnittes mit Kernbohrungen, geoelektrischen und seismischen Auswertungen als digitaler Schnitt aus dem 3D-Modell.

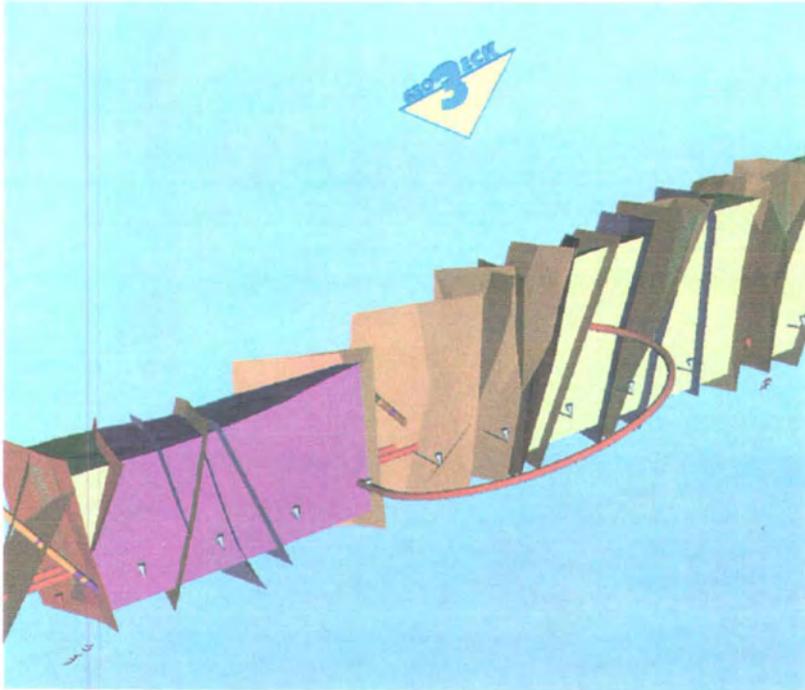
Als Beispiel für diese Arbeitsweise ist in Abb. 2-6 ein Gebirgsabschnitt mit den Kernbohrungen, den refraktionsseismischen, reflexionsseismischen und geoelektrischen Informationen dargestellt. Die vorhandenen Informationen des Untergrundes wurden hier im ACAD-3D Modell vom Baugeologen hinsichtlich der Lage von vermuteten Diskontinuitäten (rot) und möglichen Schichtgrenzen (gelb) ausgewertet und digital eingetragen.

Der gesamte Gebirgsaufbau wurde hinsichtlich der relevanten baugeologischen Parameter (Gesteinsarten, Wechsellagerung, tektonische Beanspruchung, Störungszonen etc.) in mehreren Schritten auf diese Art und Weise ausgewertet und räumlich interpretiert.

Die Interpretationsdaten wurden vom Baugeologen wieder dem Geoinformatiker übermittelt und in das Modell integriert. So entstand ein dreidimensionales Baugrund-Modell, das sowohl sämtliche Eingangsdaten als auch eine auf diesen basierende konsistente Auswertung und Interpretation enthält.

Das fertige Modell stand in weiterer Folge dem Baugeologen und der Projektgruppe zur Klärung baugeologischer Fragestellungen wie z.B. Erstellung einer baugeologischen Prognose von Gebirgsbereichen, Gebirgsarten und Gebirgstypen und deren Verteilung entlang der Tunneltrasse, sowie zur Klärung bestimmter geotechnischer oder hydrogeologischer Fragestellungen zur Verfügung.

Für Präsentationszwecke wurde das ACAD-Modell in ein vereinfachtes Virtual-reality-Modell umgesetzt (Abb. 2-7), das einfach handhabbar für rasche 3-dimensionale Betrachtungen verwendet wird.



**Abbildung 2-7:** Bildausschnitt aus dem vereinfachten Virtual-reality-Modell, Tunnelbereich Zufahrtsstollen Taglesberg, Gebirgsvolumenkörper teilweise herausgeschnitten.

Als vorläufiges Endprodukt der baueologischen Erkundung wurde für das eisenbahnrechtliche Bewilligungsverfahren, welches im Herbst 2000 durchgeführt worden ist, ein baueologischer Bericht sowie eine Prognose der anzutreffenden Gebirgsverhältnisse erarbeitet.

Teil dieses Berichtes ist ein Längs- und Horizontalschnitt entlang des Tunnels, von dem in Abb. 2.8 ein Ausschnitt des grafischen Teils dargestellt wurde.



baugeologischen Prognosen des unmittelbar vor der Ortsbrust liegenden Gebirges sowie eine direkte Integration von Vorauserkundungs- und Dokumentationsergebnissen in das Modell. Durch eine laufende Anpassung und Eichung des Modells mit den tatsächlich aufgefahrenen Gebirgsverhältnissen werden aktuelle Prognose-Ist-Vergleiche sowie kurz fristige, durch Bauerfahrung nachgeeichte Prognosen mit höherer Aussagekraft als bisher möglich.

Das "know how" und die technischen Voraussetzungen für diese zukünftigen Verwendungsmöglichkeiten sind jedenfalls vorhanden und können genutzt werden.

Autoren:

Dr. Werner FÜRLINGER  
Ingenieurkonsulent f. technische Geologie  
5020 Salzburg, Karlbauernweg 12

Mag. Thomas STADLMANN  
Ingenieurkonsulent f. Erdwissenschaften (Geologie)  
5081 Anif, Achenpromenade 14