© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mitt. Österr. Geol. Ges.	ISSN 0251-7493	**90** (1997)	137-154	Wien, Dezember 1999

Schlüsselwörter
Lambach, OÖ
Eisenbahntunnel
Baugeologie
Deckenschotter
Verwitterungserscheinungen (Geol.Orgeln)
Permafrosterscheinungen (Eiskeile)

Geologisch-baugeologische Erfahrungen beim Bau des Eisenbahntunnels Lambach, OÖ

DIRK VAN HUSEN[1]

10 Abbildungen

Inhalt

Zusammenfasung 137
Abstract 138
1. Einleitung 138
2. Allgemeine geologische Gegebenheiten 138
3. Beurteilung der geologischen Situation nach den Voruntersuchungen 138
3.1 Aufbau des Kieskörpers 139
3.2 Verwitterungserscheinungen 141
3.3 Geologische Orgeln 141
3.4 Verkittung 141
3.5 Schliersockel 141
3.6 Grundwasser 143
3.7 Massenbewegung 143
4. Erfahrungen beim Auffahren des Tunnels 143
4.1 Aufbau des Kieskörpers: Kornverteilung, Standfestigkeit 143
4.2 Verkittung 144
4.3 Verwitterungserscheinungen 145
4.4 Geologische Orgeln 145
4.5 Permafrosterscheinungen 147
4.6 Schliersockel 151
4.7 Grundwasserverhältnisse 152
4.8 Massenbewegung am Terrassenabfall 153
5. Ergänzende Bemerkungen 153
Literatur 154

Zusammenfassung

Der Eisenbahntunnel durchörtert mit 1410 m Länge einen Terrassenkörper der Älteren Deckenschotter. In der Arbeit werden die Ergebnisse der Prognose – erstellt auf Basis der bekannten allgemeinen geologischen Gegebenheiten und bereits vorhandener projektspezifischer Bohrungen – und die beim Vortrieb angetroffenen Verhältnisse gegenübergestellt und die Unterschiede erläutert. Die wesentlichen Erscheinungen aus der Genese und den über lange Zeiträume wirksamen Verwitterungseinflüssen werden beschrieben und in ihren Auswirkungen auf den Bau des Tunnels erläutert.

Der aus der Bildung des Terrassenkörpers als braided river Sedimente resultierende Aufbau mit der dafür oft typischen kleinräumigen Kreuzschichtung von matrixreichen bis matrixlosen Kiesen („Rollkiese") und das sich daraus ergebende rasch wechselnde und sehr unterschiedliche gebirgsmechanische Verhalten der Kiese in Bezug auf die Standfestigkeit beim Tunnelbau wird erläutert.

Das sonst nur kleinräumig und durch Einzelbeobachtungen erfaßbare Verwitterungsphänomen der Geologischen Orgeln konnte erstmals über eine große Strecke, auch innerhalb eines Terrassenkörpers, beobachtet werden. Über seine Erscheinungsformen und seine Verteilung im Terrassenkörper als eng begrenzt auftretende Zerstörung des Korngefüges sowie die dadurch entstandenen Veränderungen des mechanischen Verhaltens des Kiesmaterials und die daraus erwachsenden Schwierigkeiten werden beschrieben und analysiert.

Neben diesen Verwitterungserscheinungen fanden sich in den unverkitteten Kiesen überraschenderweise im Tunnelniveau noch offene Spalten. Sie traten gemeinsam mit eng begrenzten 1-2 m breiten Zonen locker gelagerter Kiese auf, die im deutlichen Gegensatz zu den umgebenden dicht gelagerten Kiesen standen. Diese Phänomene werden als durch Eiskeile gebildete Klüfte gedeutet, die erstaunlicherweise nur teilweise verstürzt sind. Es muß sich dabei um Eiskeile aus der Dauerfrostperiode aus der letzten Eiszeit handeln, die bis in eine Tiefe von 40 m in den Kieskörper eingegriffen haben.

Im Schliersockel der Deckenschotter konnten die erwarteten Entspannungsklüfte parallel zum Terrassenrand detaillierter erfaßt werden. Es sind dies Klüfte, die nach der Unterschneidung der Deckenschotter entstanden sind.

Anschrift des Verfassers

[1] Institut für Ingenieurgeologie, TU Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Tunnelling in weathered outwash gravels. Geological-geotechnical aspects

Abstract

Near Lambach (Upper Austria) a 1410 m long railway tunnel was constructed within old outwash gravel deposits (Ältere Deckenschotter). During planning and construction, extensive observation of composition, weathering and jointing of the gravel (Quaternary) and its unconsolidated base formed by clayey sandy silts (Tertiary) as well as the mechanical behaviour due to tunnelling were made. Organ pipe like local weathering (Geologische Orgeln), in addition to ice wedges reached the tunnel 25-40 m below the surface. Their genesis and influence on mechanical properties of the gravels are explained.

1. Einleitung

Im Zuge der Beschleunigung und Entflechtung des Verkehrs auf der Westbahn mußte zwischen den Bahnhöfen Lambach und Lambach Markt eine enge Kurve um den markanten Terrassensporn entschärft werden (Abb.1). Um diesen Engpaß im Betrieb zu beseitigen wurde die den Ort im Norden überragende Terrasse des Kalvarienberges mit einem 1410 m langen Tunnel durchörtert. Nach einer 3-jährigen Planungs- und Vorbereitungsphase wurde der Tunnel in den Jahren 1991-1993 aufgefahren und ging nach dem Ausbau im Jänner 1995 voll in Betrieb.

Der Tunnelbau bot erstmalig die Gelegenheit, über eine größere Erstreckung einen Deckenschotterkörper in seinem Internbau zu erfassen. Die Voruntersuchungen durch ein umfangreiches, für geotechnische und hydrogeologische Fragen erstelltes (WAIBEL 1990 a, b) Bohrprogramm eröffneten durch Auswertung der vorhandenen Bohrkerne die Möglichkeit eine über allgemeine geologische Aussagen hinausgehende geologische Beurteilung der Hochfläche nördlich Lambach zu erarbeiten. Der Bau schuf dann einen nahezu kontinuierlichen Aufschluß mit einer beobachtbaren Ausbruchsfläche von ca. 120 m². Über die dabei gewonnenen detaillierten, interessanten, sowie auch überraschenden Beobachtungen zum geologischen Bau und Gebirgsverhalten des Terrassenkörpers und seines Sockels soll hier berichtet werden.

Die vorgestellten Ergebnisse fußen einerseits auf eigenen Beobachtungen während der Voruntersuchung und des Baues, andererseits auf den Beobachtungen im Zuge der geologischen Dokumentation des Tunnelvortriebes, die fast zur Gänze von Dr. M. BERGMAIR durchgeführt wurde. Diese Aufnahmen standen mir zur Verfügung. Natürlich flossen aber auch die in Gesprächen vermittelten Informationen in die Beurteilung ein.

Herrn DI R. PLANK, dem Leiter der Projektleitung Westbahn-West, dem Planung und Durchführung des Projektes oblagen, möchte ich für die jahrelange gute Zusammenarbeit und die Möglichkeit in alle relevanten Unterlagen Einsicht nehmen zu können, herzlich danken.

Herrn DI Dr. mont. G. M. VAVROVSKY, Vorstandsdirektor der Eisenbahn HL-AG, danke ich sehr für die Möglichkeit bei dem Projekt mitarbeiten zu können und die Erlaubnis, die bei Vorarbeiten und Baudurchführung gewonnenen Erkenntnisse veröffentlichen zu dürfen.

2. Allgemeine geologische Gegebenheiten

Die Terrasse des Kalvarienberges nördlich Lambach ist ein kleiner Teil der ausgedehnten Terrassenlandschaft am Südrand des Schlierhügellandes. Der Terrassenkörper (Abb.1) korrespondiert im Aufbau sowie mit seiner Oberfläche in knapp über 400 m NN gut mit den ausgedehnten Vorkommen der Älteren Deckenschotter der Traun-Enns-Platte südlich der Traun und wird dementsprechend als Älterer Deckenschotter eingestuft (KOHL 1997). Diese liegen einem hohen Sockel aus Schlier auf, der an den Terrassenrändern entlang der Flüsse und Bäche durch die Seitenerosion immer wieder aufgeschlossen ist (KRENMAYER 1997; FLÖGL 1970).

Die siltreichen, sandigen Mergel des Schliers in der Umgebung von Lambach werden dem Robulusschlier und den Vöckla Schichten zugeordnet, die sich im Bereich von Lambach verzahnen. Der fazielle Übergang wird durch das Auslaufen von Einschaltungen mächtiger Fein- bis Mittelsandlagen im Vöcklaschlier definiert, die dem Robulusschlier im Osten weitgehend fehlen (RUPP 1997).

Der Schlier im Liegenden der Deckenschotter weist eine durch Flußerosion entstandene Oberfläche auf, die durch weit gespannte, flache Mulden und Rinnen charakterisiert ist. Diese entsprechen zum Teil ungefähr dem heutigen Flußnetz, verlaufen teilweise aber auch völlig diskordant zu diesem (KOHL 1974).

Dem Schlierrelief lagern dann die mächtigen Kiese der Älteren Deckenschotter auf, die im Raum Lambach von der Traun und ihren Nebenflüssen in früheren Eiszeiten geschüttet wurden. Durch ihr hohes Alter weisen die Älteren Deckenschotter an ihrer Oberfläche generell eine mächtige Verwitterungszone auf, von der ausgehend die Verwitterung immer wieder örtlich schlotartig bis tief in den Terrassenkörper eingreift. Diese, als „Geologische Orgeln" bezeichneten, Erscheinungen wurden früher bei Bauarbeiten oder an der Basis von Lößlehmabbauen immer wieder beobachtet (KOHL 1997), ohne daß eine schlüssige Erklärung für ihre örtliche Verbreitung gegeben werden kann.

Die Terrassenkörper der Älteren Deckenschotter sind durchwegs von einer Lößlehmdecke überdeckt, die in den jüngeren Eiszeiten durch Lößakkumulation und in den Zwischeneiszeiten durch Verwitterung entstanden ist.

Nach der Zerschneidung der Älteren Deckenschotter wurden später entlang der Flüsse generell die jüngeren eiszeitlichen Terrassenkörper akkumuliert und bei der anschließenden Tieferlegung des Flusses teilweise wieder erodiert. In Lambach (Abb.1) sind eine ausgedehnte Hochterrasse der Riß Eiszeit (höhere Teile des Ortes) und die Niederterrasse der Würm Eiszeit (Bahnhof) erhalten. Während der Erosionsphasen wurden durch das Pendeln des Flusses immer wieder auch die älteren Terrassen seitlich angegriffen. An diesen Prallhängen, besonders der jüngsten Erosionsphase, treten hohe steile Hänge auf, an deren Fuß der Schlier im Sockel der älteren Terrassen zu Tage tritt (Abb.1).

3. Beurteilung der geologischen Situation nach den Voruntersuchungen

Die Beurteilung der geologischen Situation im Tunnelbereich fußte neben den eigenen Geländebegehungen auf einer genauen lithologischen Auswertung der Kernbohrungen, die für die geotechnischen Vorerkundungen abgeteuft worden waren. Zusätzlich standen das geotechnische Gutachten und

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

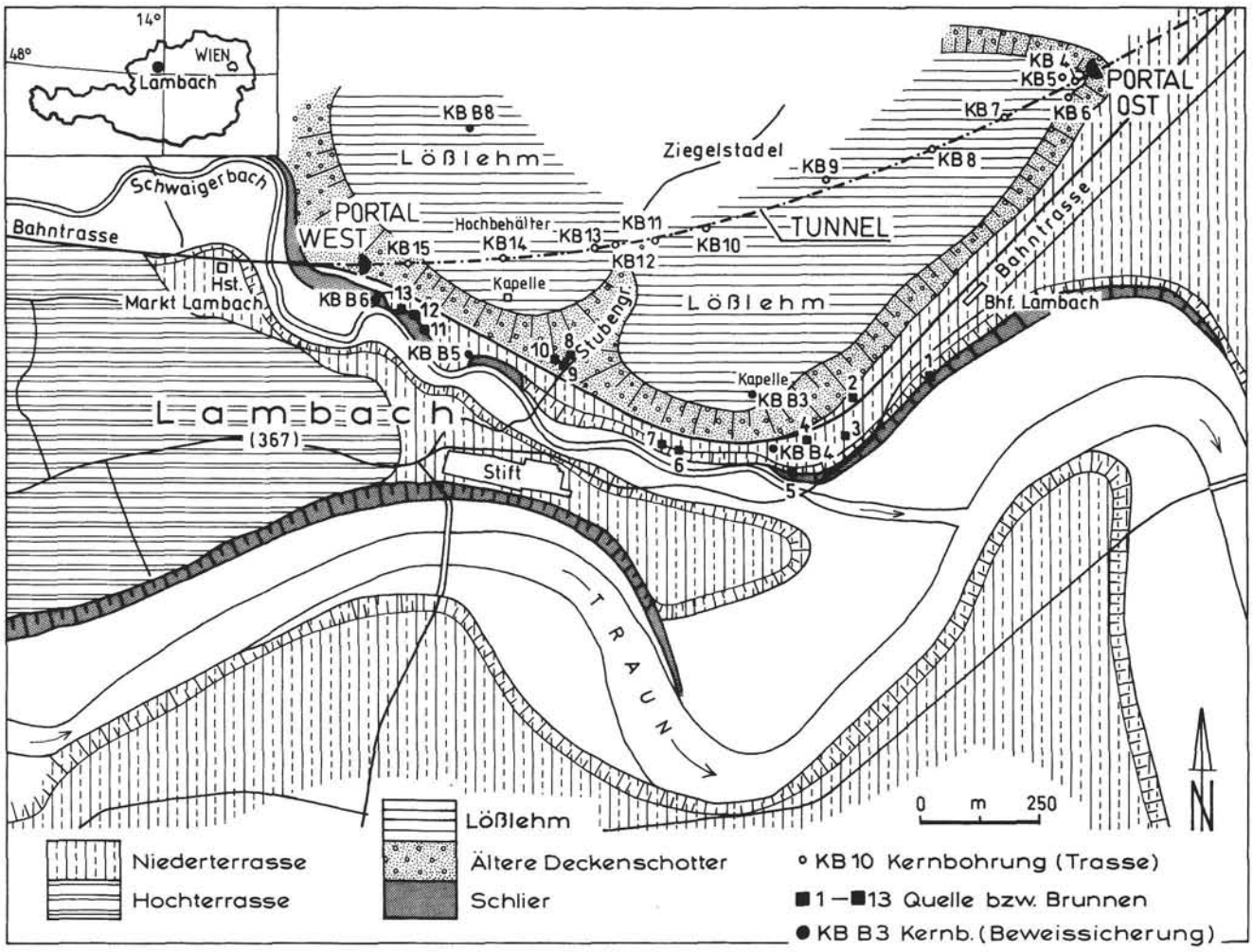


Abb. 1
Geologische Skizze der Umgebung von Lambach mit Tunneltrasse, Aufschlußbohrungen (KB & KBB), sowie die beobachteten Quellen und Brunnen.

die Ergebnisse der Standard Penetration Tests (SPT Werte) sowie Siebsummenkurven der Materialien u. a. zur Verfügung (WAIBEL 1990 a). Diese Daten, in Übereinstimmung mit der Modellvorstellung über Genese und Entwicklung des geologischen Körpers, führten zu einer Prognose über den Aufbau und das Verhalten des Terrassenkörpers beim Bau des Tunnels (Abb. 2).

3.1 Aufbau des Kieskörpers

Wie der Abbildung 2 zu entnehmen ist, wurde der Tunnel zum weitaus überwiegenden Teil in den Kiesen der Älteren Deckenschotter aufgefahren. Den Kernbohrungen war zu entnehmen, daß die Kiese überwiegend von Karbonatgesteinen und Flyschsandstein aus den Alpen gebildet werden, zu denen sich auch ein nicht unerheblicher Anteil von Kristallingeschieben als Umlagerungsprodukt aus den Kiesen des Hausrucks gesellt. Siebsummenkurven wiesen die Kiese als durchwegs sandreiche, grobe Kiese mitunter mit einem deutlichen Anteil einerseits von Schluff, andererseits von Steinen und Blöcken aus. Dabei war aber – wie in fluvialen Ablagerungen üblich – auch in den Bohrungen eine große Variabilität in der Verteilung der einzelnen Kornklassen zu beobachten. In den verwitterten Bereichen der Deckenschotter stieg der Anteil von Ton, Schluff, Fein- und Mittelsand deutlich an, was auf z. Teil sehr fortgeschrittene Verwitterungsvorgänge hindeutete.

Die Lagerungsdichte der Kiese, wie sie durch die SPT-Werte (mit allen Schwankungen und Ungenauigkeiten bei grobkörnigen Korngemischen) angezeigt wurden, war für die verwitterten Kiese als locker bis mitteldicht, die der unverwitterten als dicht bis sehr dicht angegeben.

Die Älteren Deckenschotter gelten als fluviale kaltzeitliche Schüttung. Derartige Ablagerungen sind durch kleinräumige Kreuzschichtung, wenig aushaltende Schichten mit stark schwankender Korngrößenzusammensetzung charakterisiert. So wechseln auf engem Raum sandreiche bis sandige Kiese mit Lagen von sehr sandarmen bis völlig sandfreien ab. Letztere können bis einige dm mächtig werden und auch eine Ausdehnung über mehrere Meter aufweisen. Da in den Bohrungen und den spärlichen Aufschlüssen an der Terrassenkante auch manche andere Hinweise für die Ablagerung unter kaltzeitlichen Verhältnissen zu erkennen waren, wurde das Auftreten derartiger sandfreier Kieslagen angenommen, wenn auch der direkte Beleg dafür, durch die Störung der Strukturen beim Bohrvorgang, nicht vorlag. Derartige Lagen weisen kaum Kohäsion auf und neigen sehr zu rolligem Verhalten. Auf diesen starken Einfluß auf die Standfestigkeit der Kiese beim Abbau wurde hingewiesen.

Ebenso wurde angenommen, daß in den Kiesen auch große Blöcke, bis zu 0,5 m³ auftreten können, wie sie für Kiesschüttungen der Eiszeiten typisch und oft durch Umlagerungsprozesse im Liegenden der Terrassenkörper angereichert sind (EPPENSTEINER et al.1973).

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

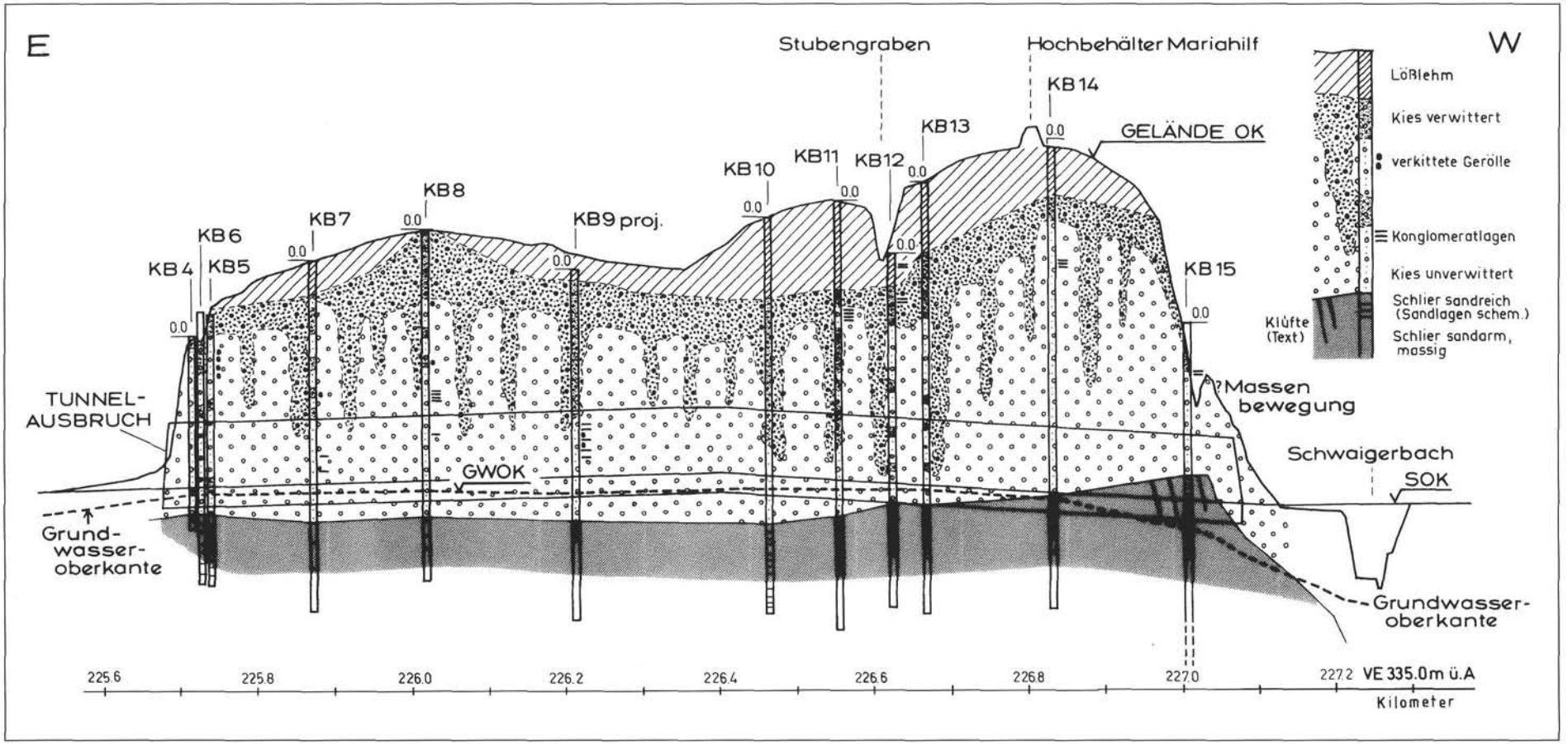


Abb. 2
Das Profil zeigt die nach den Voruntersuchungen prognostizierten geologischen Verhältnisse im Terrassenkörper und im Tunnelbereich. Bahnkilometer 225,800 entspricht der Tunnelstationierung 103,20 m, wie sie auf den Brustbildern (Abb. 4, 5, 6, 7, 9, 10) jeweils angegeben ist (z. B. Station 1026,30). Stationierung erfolgt von E nach W (vergl. auch Abb. 3), KB=Kernbohrung, SOK=Schlieroberkante. Profil 10-fach überhöht.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

3.2 Verwitterungserscheinungen

In allen Bohrungen zeigte sich, daß die Kiese an der Oberfläche eine mehrere Meter mächtige Verwitterungszone aufweisen, in der die chemische Verwitterung zur Lösung der Kalke, Veraschen der Dolomite und Kaolinisierung der Kristallinkomponenten geführt hat. Die Intensität der Verwitterung nimmt zum Liegenden langsam ab, bis wieder unverwitterte Kiese vorliegen. Das flächige Vordringen der Verwitterung ist die Folge des Einsickerns der Niederschlagswässer unter der Lößlehmschicht, das über lange Zeit erfolgte. Durch Mengen- oder Permeabilitätsunterschiede können örtliche Schwankungen auftreten.

So wurde vermutet:

„Den Bohrungen folgend scheint die Verwitterung des Kieskörpers unterhalb des flachen Tales SE Ziegelstadl und des Grabens (Fahrstraße nach Lambach) südlich der Häuser weiter fortgeschritten zu sein, was auf das verstärkte Versickern der Niederschlagswässer durch die Sammelwirkung der Täler zurückzuführen wäre." (VAN HUSEN 1990)

Im Bereich der flachen Mulde stand keine Bohrung zur Verfügung um die Mächtigkeit der Lößlehmschicht zu erfassen.

3.3 Geologische Orgeln

Ein Phänomen örtlich konzentrierter Verwitterung sind die Geologischen Orgeln. In manchen Bohrungen zeigte sich ein wesentlich tieferes Vordringen (Abb. 2, z. B. KB 9) der Verwitterung als allgemein, was auf das Auftreten derartiger Erscheinungen hinwies. In mehreren Bohrungen (Abb. 2, z. B. KB 11, 12) war auch ein mehrmaliger Wechsel von verwittertem und unverwittertem Material zu erkennen, der so gedeutet wurde, daß die Bohrung unmittelbar neben einer Geologischen Orgel verlief und deren unregelmäßig ausgreifenden Rand immer wieder angeschnitten hat.

Durch diese Hinweise war es klar, daß Geologische Orgeln tief in den Kieskörper eingreifen und deutlich bis in den Tunnelbereich reichen werden. Die wünschenswerte Angabe über Lage oder Häufigkeit des Auftretens der Geologischen Orgeln konnte naturgemäß nicht angegeben werden, da die Ursachen für die Konzentration der Niederschlagswässer und eine derartige schlauchartig in die Kieskörper ausgreifende Verwitterung nicht bekannt ist.

Auch konnte davon ausgegangen werden, daß die Geologischen Orgeln unter der Hochfläche westlich des Stubengrabens durch die größere Mächtigkeit und den Schutz durch die starke Lößlehmdecke weniger bis in den Tunnelbereich eingreifen (Abb. 2) als östlich des Stubengrabens und der breiten Talmulde.

Diese örtliche, konzentrierte Verwitterung hat durch ihren selektiven Angriff zur Folge, daß das mechanische Gebirgsverhalten um den Tunnel auf engem Raum als sehr unterschiedlich eingestuft wurde:

„Durch die chemische Verwitterung kommt es in diesen Zonen zur Lösung der Karbonate, Veraschen der Dolomite und zur Kaolinisierung der Kristallinkomponenten (Geschiebeleichen). Durch den mehr oder weniger fortgeschrittenen Festigkeitsverlust (z. B. Kaolinisierung) mehrerer oder vieler Geschiebe, oder deren völlige Lösung (Karbonate), tritt im Verband des Sand-Kiesgemisches ein deutlicher Festigkeitsverlust auf. Diese Vorgänge führten im weit fortgeschrittenen Stadium zur Auflockerung des Lagerungsgefüges und zur Ausbildung eines Stützgerüstes, das nur auf die noch intakten Gerölle und deren Berührungspunkte beschränkt ist. Dadurch sind derartige Bildungen je nach ihrem Entwicklungsgrad mehr oder weniger empfindlich auf mechanische Beanspruchung (z. B. auch Erschütterungen). Bei Störung des Gleichgewichtes in Geologischen Orgeln kann es je nach deren Entwicklungsgrad zu einem mehr oder weniger starken Nachsacken der Füllung oder beim Anschneiden auch zum Ausfließen des Kiesmaterials kommen.

Die durch die Verwitterung entstandenen Tone und Schluffe verbleiben innerhalb der Verwitterungszone (Geologische Orgeln) und führen zu einem höheren Feinkornanteil, wodurch bereichsweise oft eine erhöhte Kohäsion auftritt. Derartige Bereiche sind dann weniger empfindlich gegenüber der Störung des Gleichgewichtszustandes, da sich leichter ein Stützgewölbe ausbilden kann.

Diese Verwitterungserscheinung ist auf die schlauchartige Bildung der Geologischen Orgeln beschränkt, die eine unregelmäßige, aber durchwegs scharfe Begrenzung zu den oft völlig unverwitterten Kiesen der Umgebung aufweist. In diesen ist die ungestörte, ursprüngliche Lagerung erhalten geblieben." (VAN HUSEN 1990)

3.4 Verkittung

Die bei den Verwitterungsvorgängen entstehenden Produkte (Residualtone und Lösungen) verändern auch die angrenzenden Bereiche in einem Terrassenkörper. Für den untersuchten Kieskörper wurde angenommen:

„Die durch die Verwitterung gelösten Karbonate führen bei Wiederausfällung zur Konglomerierung der Kiese. Erfahrungsgemäß tritt diese Erscheinung primär im Liegenden der Verwitterungszone auf. Im übrigen Kieskörper ist ein lagen- und linsenförmiges Auftreten zu erwarten, wobei die räumliche Verteilung – durch das längere Verweilen von Haftwasser bestimmt – kaum vorhersagbar ist. Bevorzugte Bereiche sind aber grobe, sandarme Lagen, wo es zur Kalkausscheidung an der Unterseite der groben Gerölle und dadurch zur Verkittung der feineren Komponenten mit diesen kommt. Dem Fortschritt dieses Vorganges entsprechend tritt eine mehr oder weniger starke Verkittung der Lage auf. In Hinblick auf die Bildungsbedingungen des Kieskörpers (s. oben) und das daraus resultierende, nur kleinräumige Auftreten derartiger Lagen beschränkt sich eine mögliche derartige Verkittung auf Linsen und wenig aushaltende Lagen.

Im Material der Bohrungen entlang der Tunneltrasse fanden sich selten direkte Zeichen des Auftretens von Konglomerierungen, die sich fast durchwegs auf mit Sand und Feinkies einseitig verkittete größere Geschiebe beschränken. Da auch Kalzitkrusten an den Geschieben in den sandreichen Kiesen fehlen, kann nach den Ergebnissen der Bohrungen generell mit keiner weiter verbreiteten, zusammenhängenden Verkittung im gesamten Kieskörper gerechnet werden.

In manchen Bereichen, KB 11+12, scheint unter der flächigen Verwitterungszone lokal eine weiter fortgeschrittene Verkittung vorhanden zu sein, die aber hoch über der Tunnelfirste liegt.

Spuren von gut verkitteten, mächtigeren Lagen fehlen in den tieferen Bereichen (Tunnelbereich) völlig. Nur im östlichen Tunnelbereich (KB 7, 8, 9) finden sich Spuren von Verkittung im Bereich des Tunnels, die auf verkittete, dünne Lagen (Grobsandlagen) oder diffuse Verkittung in gröberen, sandarmen Partien hinweisen.

Diese Erscheinungen der Konglomerierung sind nur auf die un- oder kaum verwitterten Kiese beschränkt und treten naturgemäß in den Geologischen Orgeln durch die dort herrschenden Verwitterungsvorgänge (Lösung) nicht auf!" (VAN HUSEN 1990)

3.5 Schliersockel

Wie die Obertageaufschlüsse und Bohrungen belegen, liegen die Kiese dem hohen Schliersockel auf, der im Westen bis ins Tunnelniveau reicht. Im Osten liegt er deutlich unter der Tunnelsohle (Abb. 2). Wie die Bohrkerne zeigten, ist der Sandanteil im westlichen Teil der Terrasse höher als im östlichen, was sehr gut mit dem Übergang vom Robulus- zum Vöcklaschlier übereinstimmt. Die tonig-schluffigen Sedimente sind sehr kompakte bindige Ablagerungen, die eine gleichmäßig hohe Lagerungsdichte (SPT-Werte) als Folge der ehemaligen Überlagerung mit ca. 350 m Sediment aufweisen. Die Bohrungen im Bereich der Hochfläche zeigten an, daß der Schliersockel vom SW Rand (368-370 m NN) ein deutliches Gefälle zum E-SE Rand (362-363 m NN) aufweist. Nach Norden steigt er deutlich zum Südrand der Hochfläche etwas an. Diese

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

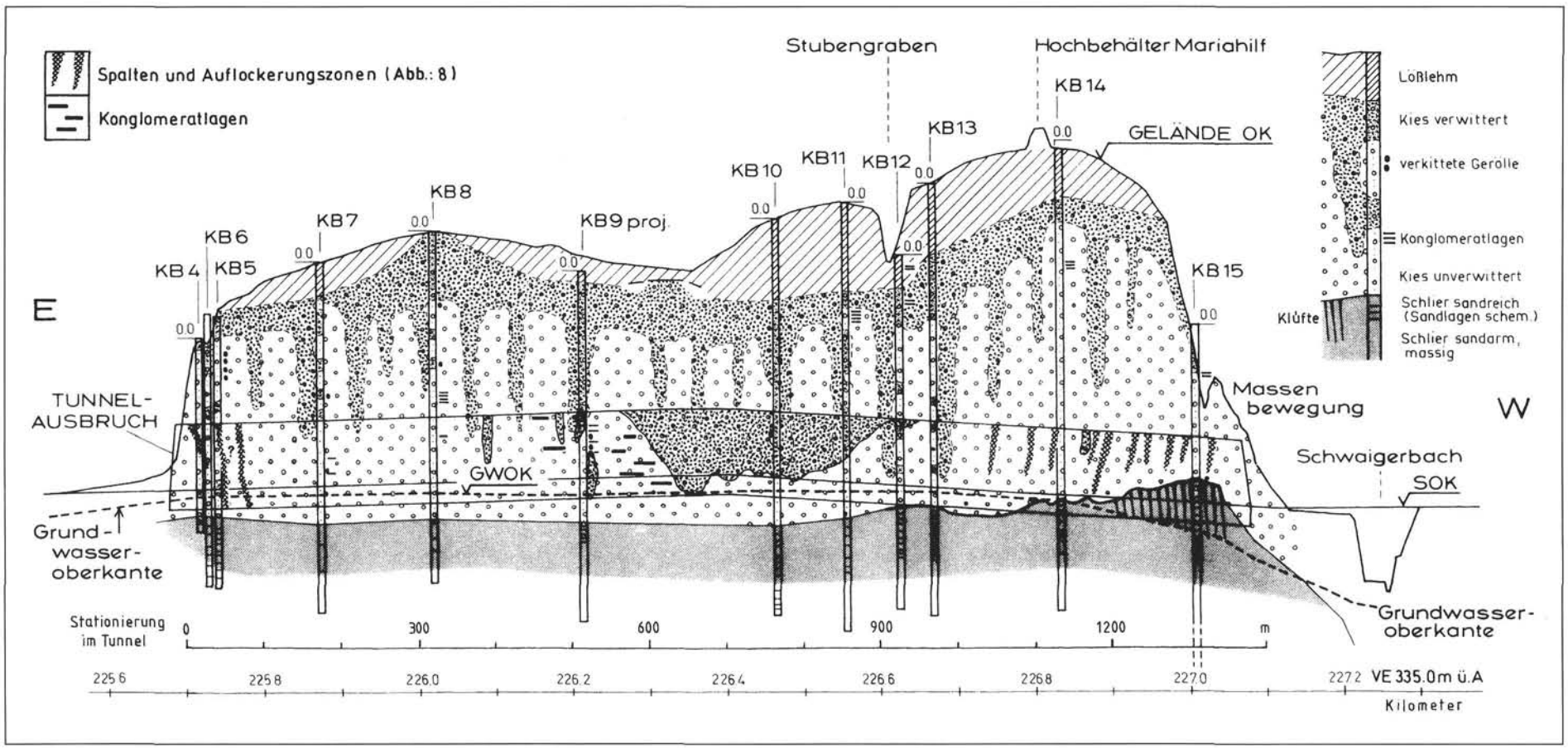


Abb. 3
Das Profil zeigt die im Tunnelbereich angetroffenen Verhältnisse. Verzeichnet sind alle zusätzlich zu den prognostizierten aufgetretenen Erscheinungen (Verwitterungszone, zusätzl. Geologische Orgeln, Konglomerate, Eiskeilpseudomorphosen) und das beim Vortrieb exakt erfaßte Schlierrelief. Zusätzlich zur Bahnkilometrierung sind auch die Stationsmeter angegeben. Profil 10-fach überhöht.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Mulde wurde als ehemaliges Flußbett angesehen, das mit den Kiesen verfüllt wurde. Der Schlier als Grundwasserstauer unter den Kiesen ist von einem 2-4 m starken Grundwasserkörper bedeckt (Abb. 2).

3.6 Grundwasser

Die Fließrichtung des Grundwassers war nach den Pegelständen und dem Schlierrelief dem alten Flußtal folgend nach E-SE anzunehmen, wo es in den Grundwasserkörper der Niederterrasse übertritt. Die Grundwasserbedeckung zeigte eine sehr gleichmäßige Oberfläche, die kaum ein Gefälle nach E und S aufwies, so daß kein deutlich wirksamer Gradient angezeigt wurde. Ein Teil des Grundwassers fließt aber auch nach Süden und speist die Quellen am Südabfall der Hochfläche, die deswegen über den gesamten Projektszeitraum beobachtet wurden (WAIBEL 1990 b).

Im westlichen Bereich, ungefähr ab KB 14, zeigte der Schlier keine Grundwasserüberdeckung, sondern ein Piezometerniveau tief unter seiner Oberfläche (Abb. 2). Als Gründe dafür wurde eine Entwässerung einerseits durch die Sandlagen zur freien Vorflut des Schwaigerbaches hin, andererseits über eine Klüftung und Auflockerung des Schliers nahe des Terrassenrandes angenommen. Diese Klüfte und die Gefügeauflockerung in dieser Position wurden als Folge einer über lange Zeit entstandenen Öffnung zur freien Oberfläche angesehen.

3.7 Massenbewegung

Auf derartig tiefgreifende Veränderungen im Bereich des Terrassenrandes wies noch ein scharf eingeschnittener, trokkener Graben hin. Wenn seine aktuelle Form auch auf anthropogene Überformung zurückzuführen war (wahrscheinlich alter Ziehweg), so dürfte die Anlage auf das Absitzen der Kiese und Konglomerate des äußeren Teiles des Hangfußes über dem Schlier zurückgehen. Weitere Hinweise auf eine kleinräumige Massenbewegung waren noch verstellte Konglomeratblöcke der Talrandverkittung sowie eine undeutliche kleine Geländestufe.

4. Erfahrungen beim Auffahren des Tunnels

Der Tunnel wurde nach den Prinzipien der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT) aufgefahren (MÜLLER & FEKKER 1978), wobei zur Hohlraumsicherung Gitterbögen und mit Baustahlmatten bewährter Spritzbeton dienten. Eine vorauseilende Gebirgssicherung in Firste und Ulmen – je nach Erfordernis – erfolgte mit Verzugsdielen und Selbstbohrspießen. Unter den Gebäuden von Ziegelstadl und dem Hochbehälter der Wasserversorgung der Gemeinde Lambach wurden als setzungsmindernde Maßnahme HDBV-Pfähle (Hochdruckbodenvermörtelung) im Kalottengewölbe mit Fußpfählen ausgeführt.

Der Ausbruch der Kiese sowie des Schliers erfolgte in Kalotte, Strosse und Sohle mittels Bagger. In der Kalotte, fallweise auch an der Strosse, wurde die Ortsbrust – je nach Standfestigkeit des Gebirges – in mehr oder weniger großen Teilabschnitten geöffnet und mit Spritzbeton wieder gesichert (Abb. 4a, b). Zur Stützung der Ortsbrust in der Kalotte wurde ein Stützkern stehen gelassen und zur Sicherung der Kalotte der Ringschluß mit Baustahlmatten und Spritzbeton in der Sohle hergestellt. Der Tunnel wurde von Ost nach West aufgefahren, erst nachdem der Kalottendurchschlag erfolgt war, wurde aus Zeitgründen die Strosse auch von Westen abgebaut.

Der Tunnel kann grob in drei Abschnitte unterteilt werden, in denen doch deutlich unterschiedliche Verhältnisse beim Vortrieb angetroffen wurden. Es sind dies jeweils die ca. 400-500 m langen Strecken unter den Flächen im Osten und Westen, und die etwa gleich lange Strecke unter den beiden Tälern im mittleren Bereich, wo auch die Überlagerung am geringsten ist (Abb. 3).

4.1 Aubau des Kieskörpers: Kornverteilung, Standfestigkeit

In allen drei Bereichen waren generell dieselben Sedimentstrukturen in den Kiesen erkennbar, die auf die beschriebenen Ablagerunsgbedingungen zurückzuführen sind. So konnten beim Vortrieb an der Brust von Kalotte sowie Strosse die verschiedenen Sedimentationsbilder beobachtet werden, wie sie in der Tunneldokumentation festgehalten sind.

Einerseits wurden – wenn auch selten – Bereiche aufgeschlossen, die über die gesamte Fläche sehr gleichmäßige, grobe bis mittelkörnige, sandreiche Kiese ohne gut erkennbare Einregelung der gröberen Komponenten aufwiesen (Abb. 4a). Sie zeigten auch kaum Klassierung oder Schichtung. Öfter waren diese Sedimentlagen aber von sandärmeren Kiesen oder auch von Sandlagen unterbrochen, wodurch ein etwas weniger homogenes Erscheinungsbild entstand. Andererseits waren aber auch Bereiche zu beobachten, in denen auf engstem Raum sandreiche Kiese mit Lagen oder Linsen von sandarmen bis sandfreien Kiesen oder Sandlagen wechsellagerten (Abb. 4b). Diese extrem unterschiedlichen Sedimentstrukturen mit allen Übergängen, wie sie den Sedimentationsbedingungen großer Flüsse unter eiszeitlichen Bedingungen (braided river) entsprechen, waren immer wieder über den ganzen Tunnel zu beobachten (CANT 1982; REINECK & SINGH 1989).

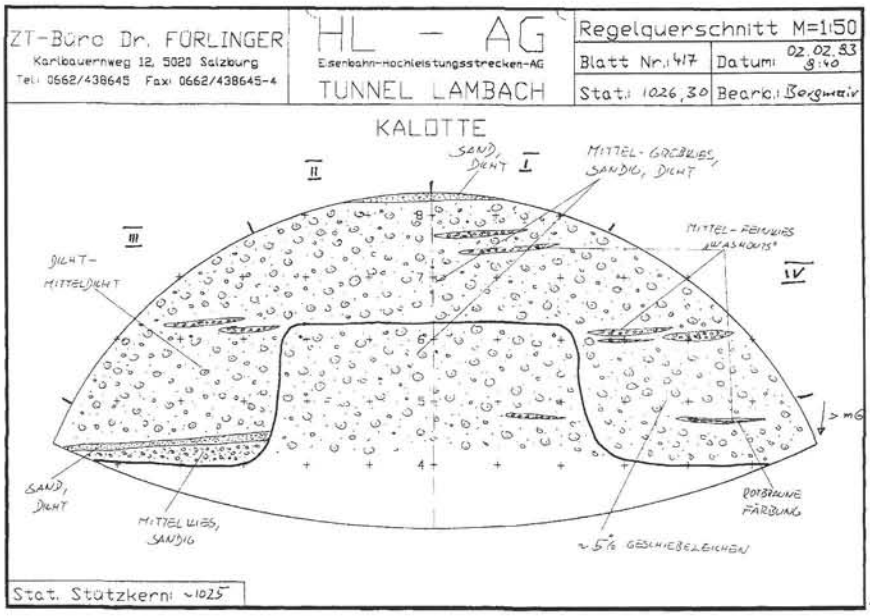
Besonders in den Bereichen mit der regen Wechsellagerung und Kreuzschichtung auf engem Raum traten häufig die erwarteten Lagen oder Linsen von sandfreien Kiesen (Mittel-Grobkies) auf, die für diese Sedimentationsart typisch sind. Diese als „Rollkiese" bezeichneten Lagen und Linsen waren meist recht klein, wurden aber auch bis einige dm mächtig und erstreckten sich über einige Meter Länge. Sie neigten durch die fehlende Kohäsion sehr zum Ausfließen, wodurch immer die Gefahr bestand, daß beim Ausfließen durch Nachbrechen der hangenden sandigen Kiese eine Destabilisierung der Kalottenbrust im ungesicherten Zustand auftrat.

Beim Auftreten derartiger Lagen mit größerer Mächtigkeit und Erstreckung war es oft nur möglich kleine Bereiche (nur einige m^2) zu öffnen (Abb. 4b), die dann sofort – wie geplant – mit Spritzbeton gesichert wurden. Zusätzlich wurde mit wechselndem Erfolg versucht zur Stabilisierung der Ortsbrust, besonders beim gehäuften Auftreten dieser Rollkieslagen Zementinjektionen mittels Selbstbohrspießen durchzuführen. Durch deren unregelmäßiges Auftreten wurden die injizierbaren Kiese aber nicht immer getroffen. In den knapp daneben liegenden durchbohrten sandreichen Kiesen war eine Injektionsaufnahme kaum möglich, wodurch die sandfreien Lagen oft nicht injiziert wurden.

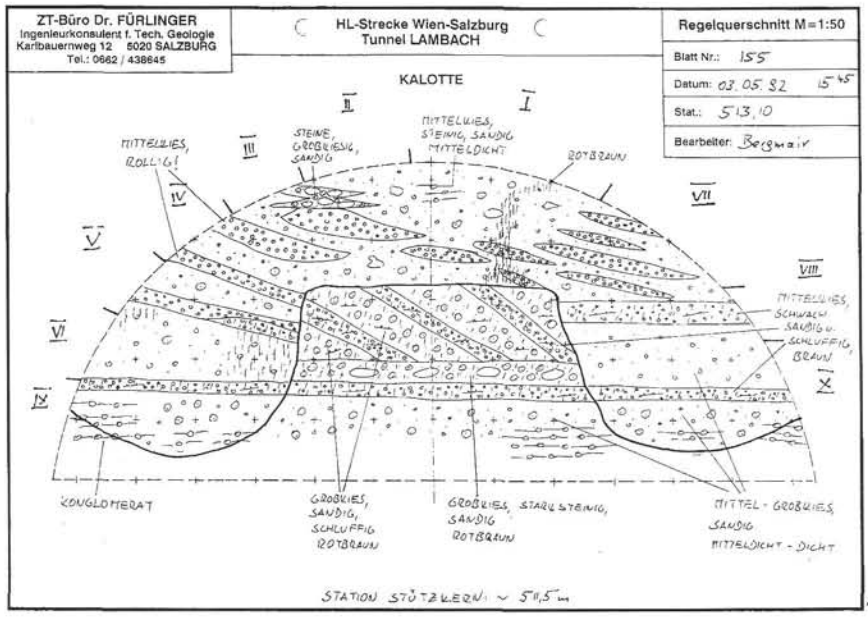
In den Bereichen mit den sandreichen Kiesen konnten wesentlich ausgedehntere Felder bis zu einem Drittel der Ortsbrustfläche im Gegensatz dazu geöffnet werden (Abb. 4a).

Die Kies-Sandgemische zeigten die erwartete mitteldichte bis sehr dichte Lagerung (SPT-Werte s. o.). Sie war der Grund für eine ausreichende Standfestigkeit und die Möglichkeit beim Vortriebsgeschehen Lasten ohne übermäßige Deformation aufzunehmen und zu übertragen.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



4a



4b

Abb. 4a, b
Die beiden Brustbilder zeigen zwei gegensätzliche Sedimentzusammensetzungen der Kiese, die in allen Übergängen beim Tunnelvortrieb angetroffen wurden: einerseits massige, wenig strukturierte, sandreiche Kiese, die nur kleine Nester und dünne Lagen von Sand oder sandfreien Kiesen („washouts") führen (4a). Hier war eine gute Standfestigkeit der Kalottenbrust gegeben, so daß in großen Teilfeldern vorgetrieben werden konnte. Andererseits findet sich eine kleinräumige, sich rasch ändernde Wechsellagerung dieser Sedimenttypen, daß sogar im Stützkern andere Strukturen als an der Kalottenbrust zu beobachten waren. Durch das rollige Verhalten der sandfreien Kiese wurde ein Vortrieb in kleinen Teilfeldern erzwungen (4b). Die röm. Ziffern markieren die Reihenfolge und Größe der Teilfelder. Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Kalottenbreite 12 m.

Die für diese Sedimentationsbedingungen typischen großen Driftblöcke wurden nur sehr vereinzelt und nur bis Kantenlängen von 40-60 cm angetroffen. Die riesigen Blöcke, wie sie in den jüngeren quartären Flußterrassen häufig anzutreffen sind (EPPENSTEINER et al. 1973), fehlten gänzlich. Wahrscheinlich ist das darauf zurückzuführen, daß keine wesentlichen Umlagerungsvorgänge während dieser Terrassenbildung eingetreten waren, wofür auch keine anderen Indizien zu beobachten waren. Derartige Prozesse würden zur Kondensation der Blöcke im liegenden Teil des Kieskörpers führen, in dem der Tunnel aufgefahren wurde. Das Auftreten derartiger Blöcke mit Kantenlängen über 1 m hätte ja beim Abbau auch eine Gefahr der Destabilisierung der Kiese an der Ortsbrust bedeutet.

Trotz des hohen Alters zeigten die Kiese unterhalb der durch die Bohrungen erfaßten, hangenden Verwitterungszone wenig Verwitterungserscheinungen. Diese beschränkten sich auf verschte Dolomite und verkreidete Kalke und manche mürbe Kristallingerölle. Sie erfaßten meist 1-2%, max. bis zu 5% der Gerölle, wodurch aber noch keine erkennbare Auflockerung im Gefüge und somit keine Schwächung im mechanischen Verhalten eintrat.

Da diese Verwitterung auf Einzelgerölle beschränkt war und ohne wesentliche Verfärbung (Oxydation) des Kies-Sandgemisches erfolgte, war diese Veränderung in den Bohrungen nicht zu erkennen, da die mürben und angewitterten Gerölle zerstört und in den Sandanteil inkludiert wurden.

4.2 Verkittung

Wie beschrieben, fanden sich in einzelnen Bohrungen bis ca. 10 cm mächtige, halbwegs konglomerierte Lagen sowie Gerölle, die mit Feinkies und Sand zu Klumpen verkittet waren (Abb. 2). Diese Erscheinungen traten hauptsächlich im östlichen Drittel des Tunnels auf, wo die flächige Verwitterungszone – mit der sie in Zusammenhang steht (s. o.) – nicht sehr hoch über der Firste liegt. Sie traten in den Bohrungen aber deutlich oberhalb der Firste sowie in der abseits der Tunnelachse gelegenen Bohrung KB 9 auf, so daß eher nur in diesem Bereich mit ausgedehnteren Partien verkitteten Materials im Tunnel zu rechnen war.

Im Tunnelbereich traten aber ca. zwischen Station 300-500 m, entgegen der Erwartung, ausgedehntere, verkittete

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Bereiche auf, die bereichsweise so intensiv verfestigt waren, daß der Abbau durch den Bagger schwer möglich war und stellenweise Schrämmarbeiten nötig wurden (Abb. 5b, c). Die verkitteten Bereiche waren aber sehr unregelmäßig und wenig aushaltend, manchmal wolkig im Sediment verteilt (Abb. 5a). Dieses unregelmäßige Auftreten sowie die rasch wechselnde Intensität der Verkittung mag der Grund sein, daß sie in der KB 8 im Tunnelbereich so gut wie nicht erfaßt wurde.

Die Konglomerate konnten im östlichen Teil oft in Zusammenhang mit stark verfärbten (Oxydationshorizont) und teilweise auch bereits stärker verwitterten Kiesen beobachtet werden, was auf ihr bevorzugtes Auftreten in der Fällungszone unterhalb der Lösungsfront der Verwitterungszone hinweist.

In manchen Aufschlüssen war auch zu beobachten, daß der Porenraum der sandfreien Kieslagen teilweise mit Tonen gefüllt war oder die Kieskörner mit Tonen überzogen waren, obwohl das übrige Sediment keine Verfärbung oder stärkere Verwitterung zeigte. Derartige, durch die Grundwässer – der Wegsamkeit folgenden – verfrachtete Residualtone waren gute Indikatoren für nahe oder nahende Verwitterungszonen.

4.3 Verwitterungserscheinungen

Den Verwitterungserscheinungen wurde während des Vortriebes große Aufmerksamkeit gewidmet, da von ihnen ja die stärkste Veränderung des Gebirgsverhaltens erwartet wurde (s. o.).

Neben der allgemein geringen Verwitterung der Kiese waren immer wieder Bereiche zu beobachten, die durch einen höheren Prozentsatz verwitterter und korrodierter Gerölle charakterisiert waren. Diese Partien wiesen durchwegs einen höheren Ton- und Schluffgehalt sowie eine Verfärbung zu gelb bis rotbraun auf. Mit dem Anstieg der verwitterten Gerölle war auch der erwartete Verlust an Lagerungsdichte zu beobachten. Diese Bereiche traten – besonders im östlichen Tunnelabschnitt – oft ohne scharfe Grenze zum umgebenden Sediment auf.

Ungefähr ab Station 500 m zeigte sich eine zunehmende Verwitterung im Bereich der Firste. Diese setzte – abgesehen vom gehäuften Auftreten von Geologischen Orgeln (s. u.) – allmählich ein und gewann beim weiteren Vortrieb immer mehr an Bedeutung, indem sie zunehmend das gesamte Tunnelprofil erfaßte. Ungefähr ab Station 600 m lag dann der gesamte Tunnelquerschnitt in dem verwitterten Material, in dem er etwa bis Station 900 m weitgehend verblieb (Abb. 3).

Diese, bis unter das Tunnelniveau eingreifende, allgemeine Verwitterungsschicht, ist auf das flache Muldental zurückzuführen, wie das auch in der Prognose als Möglichkeit vermutet wurde (s. o.). Durch die offensichtlich schon vor langer Zeit angelegte Mulde kam es zu verstärktem Einsickern der Wässer und im Laufe der Zeit zu der weit fortgeschrittenen Verwitterung des gesamten Kieskörpers. Dazu mag noch beigetragen haben, daß im Bereich der Mulde, wie sich im Einsturztrichter zeigte, die an sich dichtende Lößlehmschicht keine so große und gleichmäßige Mächtigkeit hatte, wie angenommen, wodurch die Versickerung begünstigt wurde.

In dem Bereich wiesen die Sedimente eine mitteldichte bis lockere Lagerung auf und waren zur Gänze teilweise intensiv verfärbt. Durch den erhöhten Anteil an Schluff und Ton in Folge der Verwitterungsvorgänge wurden die Rollkieslagen und -linsen stabilisiert, so daß von ihnen in diesem Bereich eine wesentlich geringere Gefährdung der Stabilität der Ortsbrust ausging.

Dieser, hauptsächlich für die Geologischen Orgeln erwartete Effekt der Erhöhung der Kohäsion durch die im System verbleibenden Verwitterungsprodukte (s. o.) wirkte sich hier auf den gesamten Kieskörper aus.

Durch die Auflockerung und den erhöhten Feinkornanteil veränderten sich die mechanischen Eigenschaften des Kieskörpers zu einem mehr plastischen Verhalten, bezogen auf die Verformung als Folge der Öffnung der Tunnelröhre. Durch die gänzliche Verwitterung des Kieskörpers war aber wieder ein ähnlich gleichmäßiges Verhalten – wenn auch auf einem anderen Niveau – wie weiter östlich zu rekonstruieren.

Das Verhalten des Gebirges von Station 600-660 m direkt unter dem flachen Tal (Verwitterung am weitesten fortgeschritten und Überlagerung am geringsten) ist in der Analyse des Verbruchsgeschehens vom 30. 6. 1992 bei Station 645,8-655,5 m von VAVROVSKY 1994 genau beschrieben. Auf diese Arbeit soll hier nur verwiesen werden. Sie basiert auf der Analyse der Verformung des Hohlraumes, die heute durch die weit fortgeschrittenen Meßmethoden möglich ist. Es deutet vieles darauf hin, daß es in der Verwitterungszone offensichtlich noch Stellen gab, wo die Scherfestigkeit des Kieskörpers besonders herabgesetzt war. Im Tunnelbereich waren diese nicht zu erkennen. Sie können ja durchaus auch knapp neben der Tunnellaibung gelegen haben, wofür die zum Tunnel deutlich asymmetrische Lage des Einsturztrichters sprechen dürfte.

Solche besonderen lokalen Schwächezonen, etwa bei den Stationen 605, 625, 655 m, im allgemein schlechten Gebirge können so gedeutet werden, daß hier ehemals Geologische Orgeln vorhanden waren. Diese wurden beim Fortschreiten der allgemeinen Verwitterung in diese inkorporiert, wobei dort aber der Verwitterungsvorgang deswegen nicht beendet war. Es bildeten sich somit besonders entfestigte und feinstoffreiche Bereiche. Diese waren bei den Umlagerungsprozessen im Zuge des Vortriebes zur Lastaufnahme keinesfalls mehr fähig (VAVROVSKY 1994).

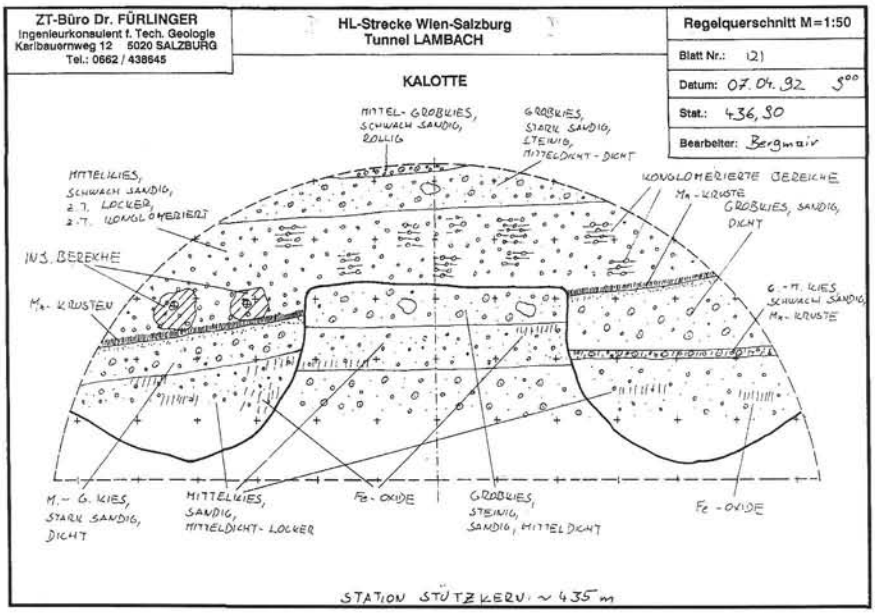
4.4 Geologische Orgeln

In den nicht von der geschlossen auftretenden Verwitterung im Mittelteil des Tunnels erfaßten Bereichen konnten immer wieder die erwarteten Geologischen Orgeln beobachtet werden. In ihrem örtlichen Auftreten war, wie erwartet, keine Gesetzmäßigkeit zu erkennen, wie auch ein Zusammenhang mit anderen Erscheinungen (s. u.) nicht schlüssig zu belegen war. Sie traten, wie in den älteren quartären Terrassen üblich und für den Bereich des Tunnels vorhergesagt, als unregelmäßig geformte, vertikale, schlauchartige Zonen auf, in denen eine deutlich stärkere Verwitterung der Kiese eingetreten war. Im Tunnelbereich waren sie immer auch durch eine starke Verfärbung des Kiesmaterials nach braun oder rotbraun gekennzeichnet (Abb. 6a). Je nach Fortschritt der Verwitterung war in den Geologischen Orgeln eine entsprechende Auflockerung des Gefüges zu beobachten, die bis zur losen Lagerung führte (Abb. 6b). Gleichzeitig war aber auch die erwartete Kohäsion durch die Schluffe und Tone gegeben.

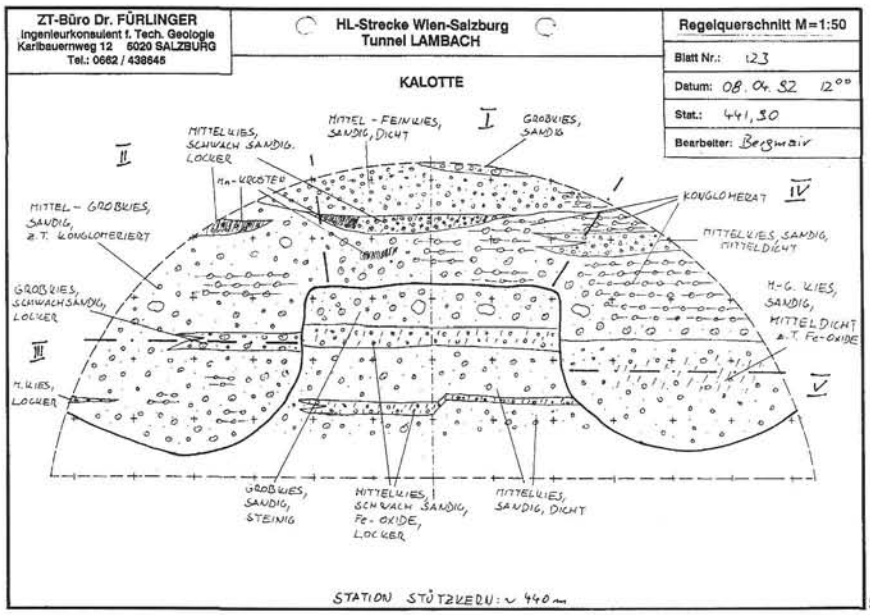
Meist war ihre Grenze zu den nicht verfärbten, kaum verwitterten Materialien in ihrer Umgebung unvermittelt scharf oder nur eine enge (1-2 m mächtige) Übergangszone (Abb. 6c) zu den dicht gelagerten Kiesen entwickelt. Dieser Saum kann als eine Auflockerungszone, die sich um den mehr oder weniger vertikalen „Hohlraum" ausgebildet hatte, bezeichnet werden. Sie wird von einem aktiven Gewölbe umgeben, wo die Kräfte durch das intakte Stützgerüst aufgenommen werden, wodurch eine weiter ausgreifende Auflockerung verhindert wird.

Beim Auftreten Geologischer Orgeln beim Kalottenvortrieb wurde der Bereich erfolgreich durch Injektionen mit Selbstbohrspießen stabilisiert um die Kalottenbrust zu sichern

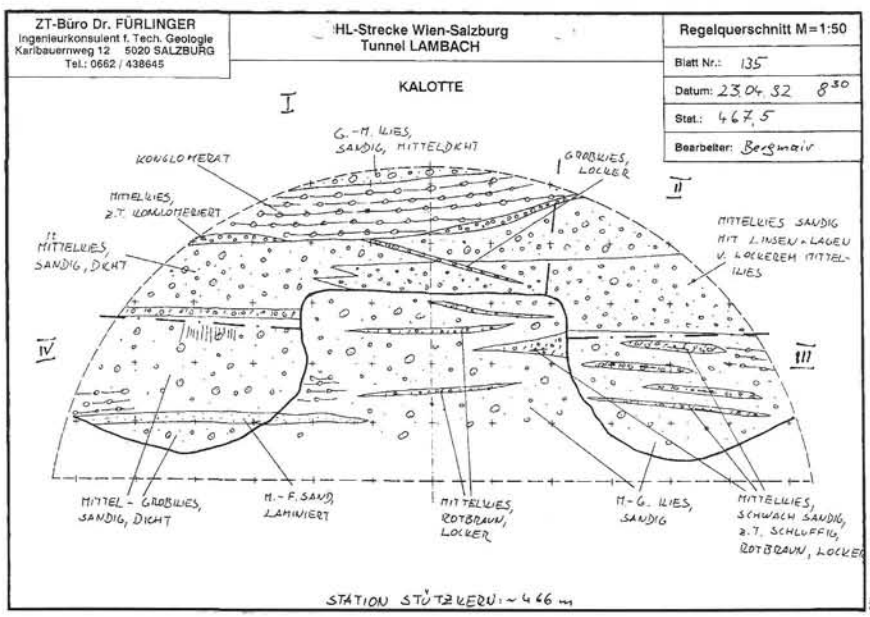
© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



5a



5b



5c

Abb. 5a-c
Die Konglomerierung der Kiese war nur im Liegenden der deckenden Verwitterungsschicht (Abb. 2) und nahe der Geologischen Orgeln zu finden. Sie trat wolkig (5a, b) oder in mächtigeren Blöcken und Lagen (5b, c) auf. Als Begleiterscheinung waren auch stark verfärbte, oxydierte Bereiche typisch. Durch die verkitteten Bereiche trat auch eine Stabilisierung der Ortsbrust ein, wodurch große Teilfelder abgebaut werden konnten (5c). Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Kalottenbreite 12 m.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

(Abb. 6a). Parallel dazu mußte der Abbau in sehr vielen kleinen Teilausbrüchen vorgenommen werden (Abb. 6c, d) und fallweise auch durch Baustahlgitter gesondert gesichert werden (Abb. 6d).

Im Bereich Station 530 m wurde beim Kalottenvortrieb an der rechten Ulme eine derartig stark verwitterte und aufgelokkerte Zone angefahren, die sich auch durch eine intensive Verfärbung nach rotbraun dokumentierte (Abb. 6d). Die lockere Lagerung führte auch zu einem Nachfall im Bereich des Kalottenfußes (Abb. 6d). Wie der Brustaufnahme zu entnehmen ist, war die Lagerungsdichte ab dem Mittelteil der Kalotte auf der gesamten linken Seite aber normal dicht. In diesem Fall wurde eine nördlich des Tunnels liegende, gut entwickelte Geologische Orgel schleifend angeschnitten. Beim weiteren Vortrieb zeigte sich in diesem Meßquerschnitt eine starke Setzung des rechten Kalottenfußes, während der linke eine normale Absenkrate aufwies. Der Firstpunkt nahm eine mittlere Stellung ein. Somit verdrehte sich das komplette Kalottengewölbe in diesem Meßquerschnitt, da im engeren Bereich des Randes der Geologischen Orgel kaum Lasten vom Gebirge aufgenommen wurden. Diese haben sich offensichtlich in Längsrichtung des Tunnels auf die bereits wieder weniger verwitterten Kiese in Vortriebsrichtung und das schon vorhandene Kalottensohlgewölbe weiter hinten abgestützt (VAVROVSKY 1994), so daß es zu keinem Schaden in der Spritzbetonschale kam. Auflockerungs- und Verwitterungszone wurden somit überbrückt und es trat nur eine Verbiegung der Kalottenschale auf.

Bei der anschließenden Sanierung dieses Abschnittes durch Injektionen mit Selbstbohrspießen war im Bereich der starken Verwitterung und Auflockerung die ca. 4-fache Aufnahme an Injektionsmaterial gegenüber den Bereichen mit weniger verwitterten Kiesen vorher und nachher zu registrieren, wodurch eine relative Quantifizierung der Auflockerung und des Materialverlustes (z. B. Karbonate) in der Verwitterungszone angegeben ist.

Ein weiterer deutlicher Hinweis für die starke Auflockerung im Bereich der Geologischen Orgel ist noch aus der Entwicklung der Setzung der Oberflächenpunkte ablesbar. Es handelt sich um die bei Station 500, 520 und 540 m genau über der Kalottenfirste liegenden Punkte bei einer Überlagerung von 19-20 m. Beim Durchgang der Kalotte hat sich der Punkt bei 520 m um mehr als das Doppelte als bei den Punkten 500 m und 540 m gesenkt. Offensichtlich kam es im Bereich der Geologischen Orgel – da ja kein Material ausgeflossen war – durch die Erschütterungen des Abbaues zur Setzung des stark aufgelockerten Materials, die bis zur Oberfläche ausgriff. Daß offensichtlich keine Verspannung und Stabilisierung des hangenden Materials eintrat, mag an einer trichterförmigen Aufweitung der Struktur nach oben und der flächigen Verwitterungszone im Hangenden gelegen haben. Die durch den Meßpunkt erfaßte, starke örtliche Setzung ist um so erstaunlicher, da die Struktur nördlich, abseits des Tunnels liegt und erst ca. 10 m westlich durch die Kalotte angeschnitten wurde. Eine noch stärkere Setzung im Zentrum der Struktur kann somit wohl angenommen werden.

Dieses, wohl durch die Arbeiten im Zuge des Anschneidens ausgelöste Nachsitzen des Kiesmaterials ist am besten durch einen teilweisen Zusammenbruch des Korngerüstes und die dadurch erfolgende „Verdichtung" zu erklären (s. o.).

Im westlichsten Teil des Tunnels – und hier am meisten unmittelbar nach Unterfahrung des Stubengrabens – konnten wieder derartige Geologische Orgeln festgestellt werden. Sie manifestierten sich, wenn sie knapp neben der Tunnellaibung lagen, durch deutlich geringeren Bohrwiderstand und stärkere Verfärbung des Spülwassers. Sie traten auch in Verbindung mit den Permafrosterscheinungen auf, wobei aber nicht sicher festgestellt werden konnte, ob ein genetischer Zusammenhang besteht. Es ist aber eher anzunehmen, daß die über den sehr langen Zeitraum mehrerer Eiszeitzyklen entstandenen Geologischen Orgeln älter sind als die Permafrosterscheinungen. Deren gute Erhaltung weist auf ein wesentlich geringeres Alter – wahrscheinlich aus der letzten Eiszeit – hin.

4.5 Permafrosterscheinungen

Am Beginn des Vortriebes im Osten kam es an drei Stellen zu Nachbrüchen aus der Firste, die einen sehr ähnlichen Ablauf und gleiche Erscheinungsbilder hatten. Bei den Stationen 31,0, 45,9 und 88,5 (Abb. 3) gaben beim Abbau der Kalottenbrust in eng begrenztem Bereich die Verzugsdielen nach, indem diese bergseitig ihre Unterstützung verloren und absackten. In der Folge flossen durch die jeweils ca. 1-1,5 m breite Lücke jeweils 15-20 m^3 Kies aus der Firste aus. Die Dielen links und rechts neben der Lücke, wie der übrige Ausbau, wurden nicht in Mitleidenschaft gezogen. Bei diesem Vorgang bildeten sich jeweils 3-4 m hohe, kaminartige Aufbrüche. Der von mir selbst beobachtete bei Station 88,5 m wies eine auffällig rechteckige Form auf, wobei die beiden Flanken im spitzen Winkel zur Tunnelachse streichende, auffallend glatte, parallel verlaufende Begrenzungsflächen waren, während die beiden anderen sehr unregelmäßig geformt waren.

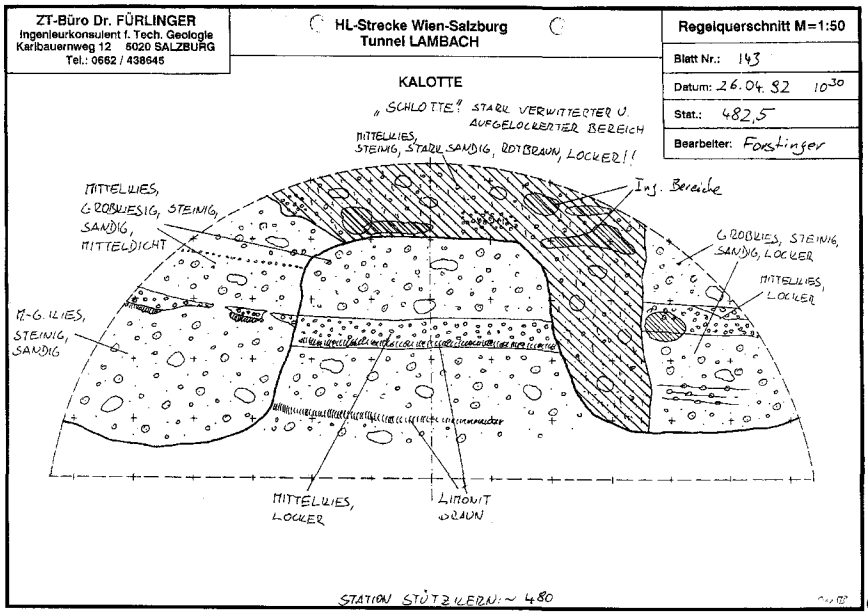
Beim Strossenvortrieb konnte der Bereich, in dem sich der Nachbruch in der Kalotte bei Station 88,5 m ereignete, wieder beobachtet werden. Er stellte sich als ein Streifen in den Kiesen mit schwankender Breite von 0,5-1,5 m dar, der zwischen Station 74 m von der linken Ulme bis Station 94 m an der rechten in schleifendem Schnitt den Tunnel querte. Die Kiese wiesen eine deutlich geringere Lagerungsdichte als die umgebenden auf und führten auch einen etwas höheren Anteil verwitterter Gerölle. Im Bereich der rechten Strossenulme (ca. Station 90-94 m) war auch eine wesentlich stärkere Verfärbung zu beobachten, die aber in der Kalotte bei Station 88,5 m nicht zu sehen gewesen war.

Nach den Beobachtungen des Bauleiters, DI G. PRÄSENT, stellte sich diese Zone als ein Band von lockeren Kiesen dar, die sehr steil nach NE einfiel. In Ermangelung weiterer Beobachtungen konnte beim Ostvortrieb keine befriedigende Erklärung für diese Erscheinung gefunden werden. Erst bei Annäherung an den westlichen Terrassenrand, nach Durchquerung der Verwitterungszone im Mittelabschnitt des Tunnels, traten dann wieder derartige Erscheinungen auf. Hier ist es der Aufmerksamkeit des dokumentierenden Geologen, Dr. M. BERGMAIR, zu danken, daß schon früh Beobachtungen gemacht wurden, die eine gezielte Untersuchung des Phänomens ermöglichten, und eine plausible Erklärung zulassen.

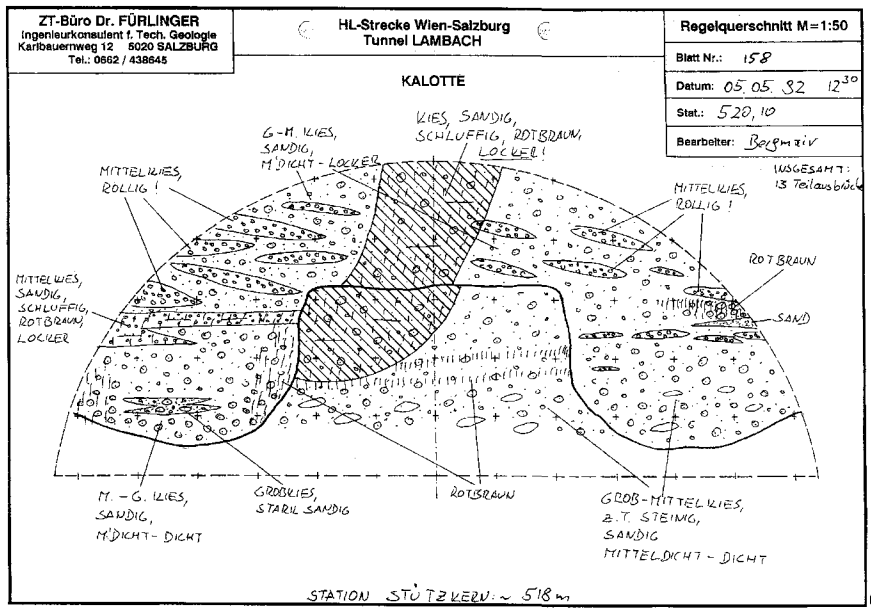
Im Zuge des Vortriebes der Kalotte sowie der Strosse traten unter der Hochfläche westlich des Stubengrabens, ungefähr ab der Station 1000 m immer wieder Spalten auf, die meist zur Gänze mit Injektionsgut aus dem HDBV Schirm (im Bereich des Wasserreservoirs) gefüllt waren. Die direkt beobachteten waren mehrere Zentimeter bis ca. 10 cm breite Spalten mit unregelmäßigem Verlauf, die vom Hangenden zum Liegenden schmäler werdend, hauptsächlich bis in den Kalottenbereich, manchmal auch bis in die Strosse reichten. Die Grenze zwischen dem Injektionsgut und dem Gebirge (sandreiche Kiese) war immer scharf, ohne daß Zementsuspension erkennbar in die Poren eingedrungen war.

Neben diesen gefüllten Spalten konnten auch offene beobachtet werden (Abb. 7a), die mit Öffnungsweiten bis zu 10 cm an der Ortsbrust oder im Stützkeil zu sehen waren. Es waren dies Klüfte mit weitgehend parallel verlaufenden Begren-

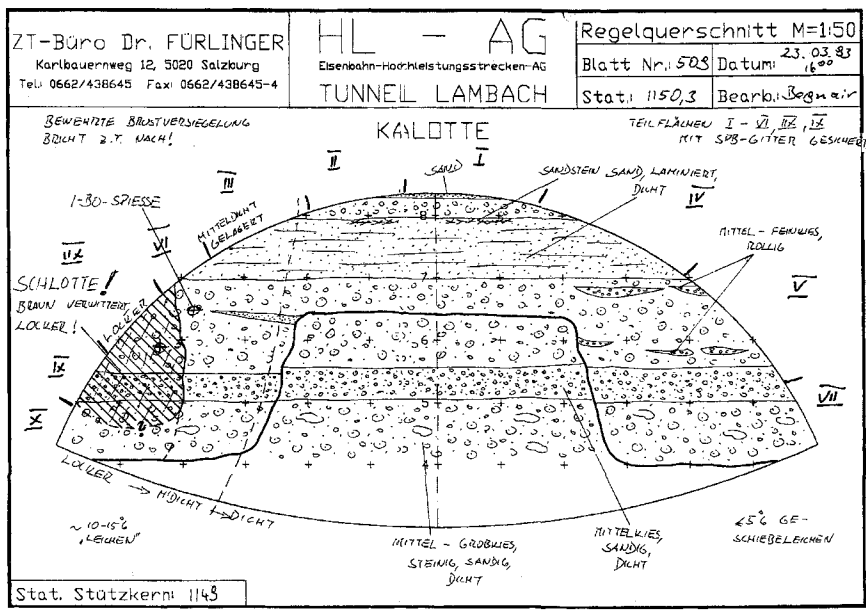
© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



6a



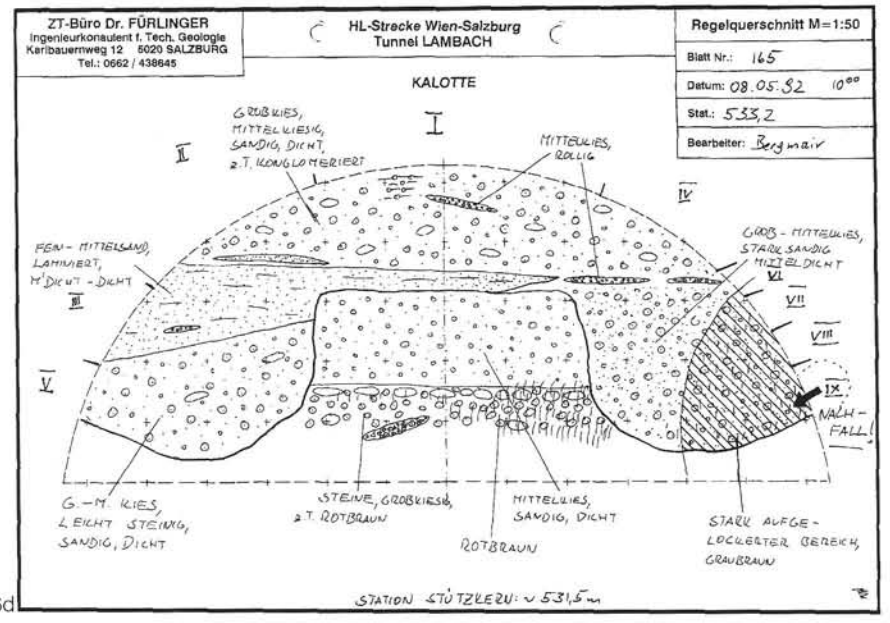
6b



6c

Abb. 6a-d
Die vier Beispiele von Geologischen Orgeln zeigen die wesentlichen Erscheinungsformen dieser so lokalen Verwitterungserscheinung. Die Geologischen Orgeln (Schrägschraffur) stellten sich meist als runde (6a) oder oval gestreckte (6b) Formen dar, die in den wesentlich weniger bis kaum verwitterten Kiesen auftraten. In vertikaler Richtung ist stellenweise ein weiteres, dann wieder ein geringeres Ausgreifen (6a, c) zu erkennen (vgl. Abb. 2, KB 8, 12). Die stark verwitterten Zonen sind durch Oxydation durchwegs stark nach braun-rotbraun verfärbt. Von diesen Bereichen war auch ein Ausgreifen der Oxydation auf grobe, wasserwegigere benachbarte Lagen zu beobachten (6b, d). Hier fanden sich fallweise auch verschwemmte Tone, die die Verwitterungsprodukte aus den Geologischen Orgeln darstellen. In ihrer Nachbarschaft traten immer wieder Verkittungen (6a, d) auf. Die Verwitterungsvorgänge führten zu einer starken Auflockerung des Gefüges, wodurch die Standfestigkeit des Gebirges stark herabgesetzt war. Dadurch konnte beim Vortrieb in diesen Bereichen nur in kleinen Flächen abgebaut werden (6c, d). Mitunter mußten die Teilfelder auch mit Baustahlgitter zusätzlich zum Spritzbeton gesichert werden. Im Bereich mit rolligen Lagen war dies ganz besonders nötig, da hier auch noch deren Instabilität dazu kam (6b, 13 Teilausbrüche). Die Auflockerung machte oft intensive Injektionsarbeiten nötig (6a, c), die aber durch hohe Injektionsgutaufnahme gute Erfolge der Stabilisierung brachten. Im Umkreis der Geologischen Orgeln war immer eine Zone aufgelockerter, aber wesentlich weniger verwitterter Kiese zu finden, die eine Auflockerungszone um den verwitterten, entfestigten Bereich (vertikaler „Hohlraum") darstellt. Dieser Auflockerungsbereich ging meist allmählich, manchmal auch mit einem raschen Übergang (6c) in die dicht gelagerten ursprünglichen Kiese mit intaktem Stützgerüst über. Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Kalottenbreite 12 m.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



6d

zungsflächen. Verstellungen von Strukturen (z. B. Sedimentwechsel) waren keine zu beobachten. Im Bereich der Begrenzungsflächen war keine Verkittung mit Kalzit oder Verklebung mit Schluff oder Ton – wenn auch nur an den Berührungspunkten der Körner – zu erkennen, die zu einer Stabilisierung der Körner hätte führen können. Es lagen zu beiden Seiten der offenen sowie auch der verfüllten Spalten nur sehr dicht gelagerte Sand-Kies Gemische vor. Diese Klüfte wurden wegen dieser Erscheinungsformen als dem Komplex des Dauerfrostbodens zuzuordnende Eiskeile und „Frostspalten" erklärt. Sie stammen wohl aus den Kaltzeiten, als der Bereich des Alpenvorlandes unter Dauerfrostbedingungen lag und die Terrassenkörper offensichtlich bis in tiefe Bereiche durchgefroren waren.

Unter diesen Verhältnissen muß es zur Anlage der Eiskeile gekommen sein, die bis in das Tunnelniveau reichten. Durch die Eisfüllung wurden die sandigen Kiese an der Begrenzungsfläche derartig verdichtet, daß es nach dem Schmelzen des Eises in manchen der Spalten (mit geringer Öffnungsweite) zu keiner Auflockerung und keinem Nachstürzen des Kiesmaterials bis heute gekommen ist. In die mit Zementstein gefüllten Spalten ist offensichtlich bei der Erzeugung der HDBV Pfähle die Zementsuspension gravitativ eingeflossen, wobei die Spalten zur Gänze gefüllt wurden. Da keine von der Hauptspalte abzweigenden, mit Zementstein erfüllten Adern oder kleinere Spalten, und kein Eindringen der Zementsuspension in die sandigen Kiese zu beobachten war, kann eine Entstehung dieser Spalten durch ein Aufsprengen unter Injektionsdruck ausgeschlossen werden.

In manchen Fällen, wahrscheinlicher in den breiteren Eiskeilen, trat doch ein Verstürzen und Verfüllen nach dem Schmelzen des Eises ein, wodurch eine schmale Zone sehr lockerer Kiese entstand, die die dicht gelagerten Kiese durchschneidet (Abb. 7b, c). Auf das Nachstürzen und die Füllung der Spalte von oben mit nachbrechendem Kiesmaterial weist die Kiesfüllung der Spalte im liegenden Sand hin (Abb. 7c). Dabei ist aber sogar noch ein Teil des Spalts im Hangenden der Sandlage nicht verfüllt worden und als Hohlraum erhalten geblieben.

Da bei allen beobachteten Spalten eine deutliche Verbreiterung zum Hangenden zu beobachten war (das übliche Bild bei Eiskeilen), kann angenommen werden, daß sie in den oberen Anteilen des Kieskörpers breiter sind und möglicherweise auch öfter auftreten. Das Tunnelniveau stellt offensichtlich die maximale Tiefenwirkung der Eiskeile dar.

Die Störung in der Homogenität des sonst dicht gelagerten, kaum verwitterten Gebirges zeigte sich auch beim Vortrieb. Die Spalten oder Streifen mit aufgelockerten sandigen Kiesen verhinderten eine kontinuierliche Lastumlagerung im Gebirge, wodurch es zu relativ raschen, kräftigen Bewegungen kam, die sich in der gemessenen Verformung der Spritzbetonschale zeigte (BERGMAIR 1993). Es ist offensichtlich durch diese Inhomogenitätsbereiche eine Durchtrennung des Gebirges eingetreten, die eine Gewölbebildung über die Zone unmöglich macht.

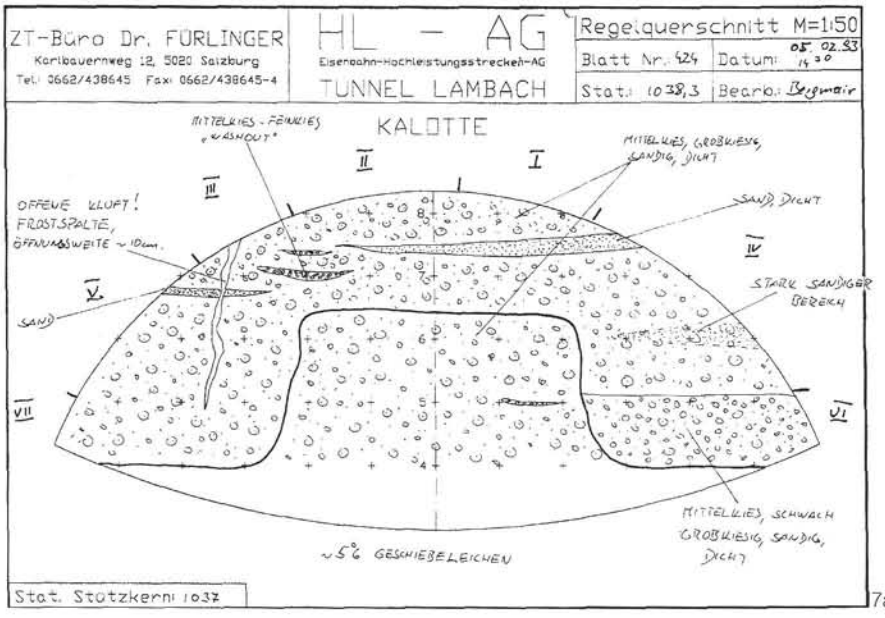
Die eng begrenzten Auflockerungszonen (s. o.), die in den ersten 100 m des Tunnelvortriebes im Osten aufgetreten sind, sind in ihrem Erscheinungsbild gleich den verstürzten Eiskeilen im Westen und sehr wahrscheinlich auch genetisch so zu erklären. Die eine hier über längere Strecken zu verfolgende Auflockerungszone wies einen Ost-West Verlauf auf.

Im Westteil des Terrassenkörpers zeigte sich durch die systematische Erfassung, daß die Eiskeile eine auffallend gleichmäßige Ausrichtung von SE nach NW aufwiesen, die nur um ca. 30-40° schwankt und mehr oder weniger parallel zur Terrassenkante zum Schwaigerbach verläuft (Abb. 8). Es fehlt hier offensichtlich die sonst im oberflächennahen Bereich oft zu beobachtende unregelmäßige Ausrichtung der Eiskeile, die sich meist zu irregulären Polygonen verknüpfen. Hinweise auf Eiskeile im Lößlehm an der Oberfläche der Terrasse, die Aussagen über Breite und Verlauf im oberen Teil der Terrasse zuließen, konnten leider nicht gefunden werden.

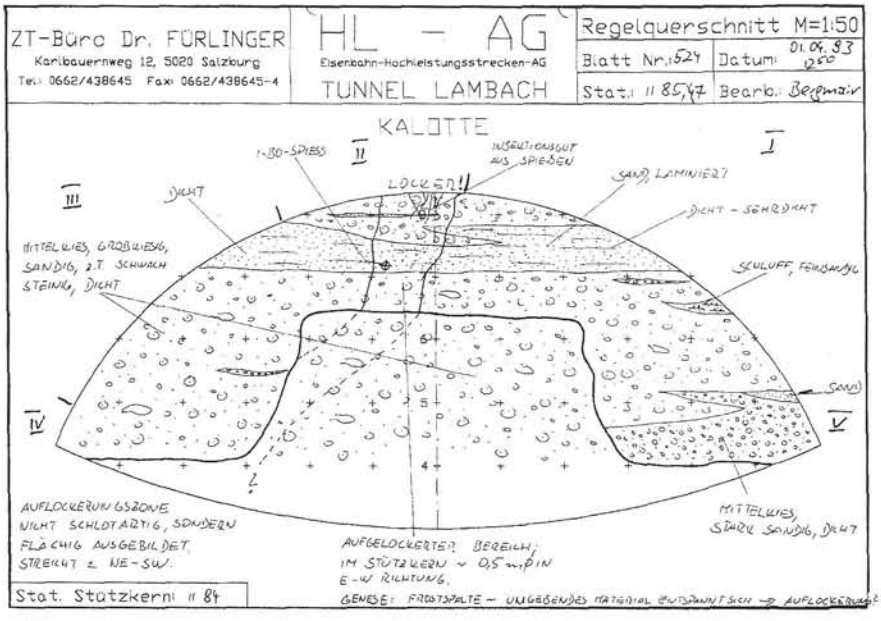
So kann nur vermutet werden, daß die tief reichenden Eiskeile und Eisspalten, die in den Perioden extremen Permafrostes entstanden sind, deswegen so gut ausgerichtet sind, da sich der durchgefrorene Kieskörper leichter zum freien Vorland entspannen konnte. Dadurch konnten sich die parallel zur Böschung verlaufenden Spalten und Keile leichter entwickeln, während andere Richtungen weitgehend unterdrückt wurden.

Dieser Entspannungsvorgang, der ja wohl nur dann wirksam werden kann, wenn der Kieskörper im gefrorenen Zustand einen Block darstellt – und demnach nur während der Kaltzeit im Kieskörper wirksam wird – zeigt eine sehr schöne Parallele mit dem beobachteten Schliersockel im westlichen Abschnitt des Tunnels.

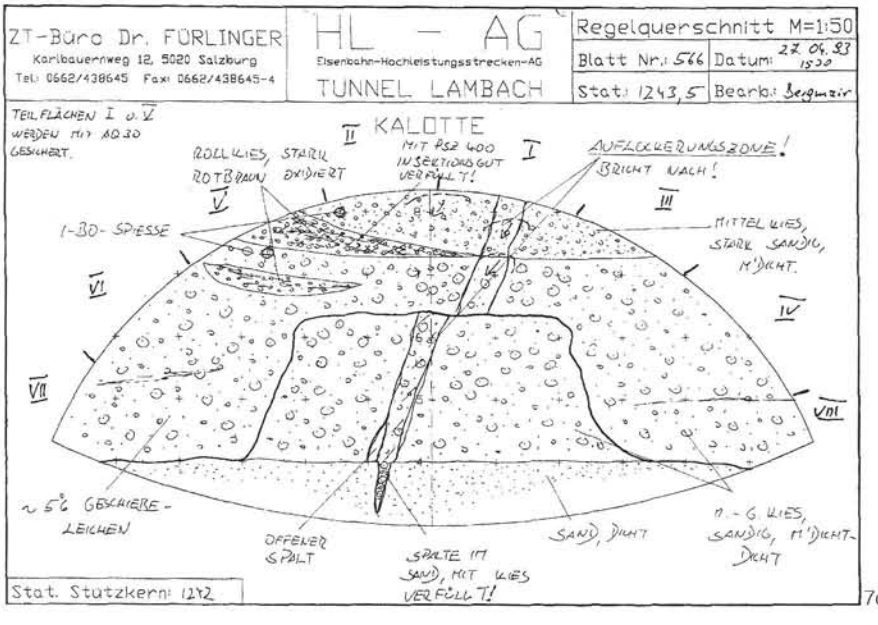
© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



7a



7b



7c

Abb. 7a-c
In den drei Brustbildern sind die Formen der Permafrosterscheinungen dokumentiert. Die offenen Klüfte (7a) erreichten ca. 10 cm, offensichtlich größere waren nicht bestandsfähig und sind verstürzt (7b, c). Diese waren aber durch die starke Auflockerung mit deutlicher Grenze zum ursprünglich gelagerten Kies gut erkenn- und erfaßbar. Das Verstürzen und die Füllung erfolgte von oben, wobei Teile der Spalte auch unverfüllt blieben und grober Kies in die Sandlage eingelagert wurde (7c). Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Kalottenbreite 12 m.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

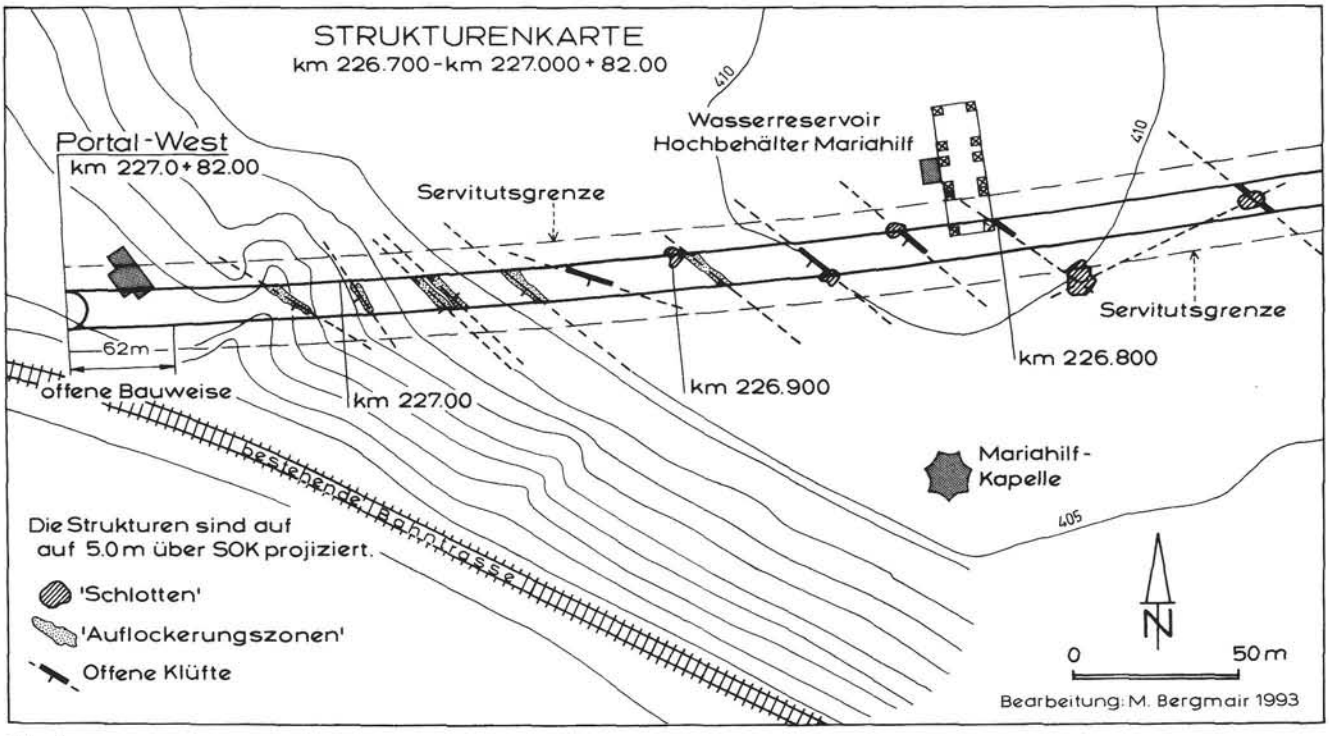


Abb. 8
Die Karte zeigt die Position und den Verlauf der Permafrosterscheinungen und Geologischen Orgeln am SW Teil des Terrassenkörpers, wie sie beim Tunnelvortrieb festgestellt wurden. Nach M. BERGMAIR 1993 (umgezeichnet).

Über das Alter der Erscheinungen kann nichts Abschließendes gesagt werden. Die offenen, und manche der verstürzten Spalten dürften aus der Zeit des Höhepunktes der letzten Eiszeit um 20.000 BP stammen. Ob die wenigen, die stärker verwitterte Kiese enthalten, älter sind, kann höchstens vermutet werden. Sie könnten einerseits im Bereich einer stärkeren Verwitterung entstanden sein, die dann zwangsläufig durch die Schwächung des Korngerüstes verstürzt sind. Andererseits könnte die in den lockeren Kiesen erhöhte Durchlässigkeit bei höherem Alter zu der Verwitterung geführt haben.

4.6 Schliersockel

Im Bereich ungefähr zwischen Station 1250 und 1370 m erfolgte der Strossenausbruch weitgehend im Schliersockel, so daß direkte Beobachtungen möglich wurden.

Das Erscheinungsbild des Schliers war, wie erwartet, ein dünnbankiger Schluff mit schwankendem Sandgehalt, der von mehreren Zentimeter mächtigen Sandlagen unterbrochen wurde. Er wies die allgemein hohe Lagerungsdichte durch die ehemalige Überlagerungshöhe (s. o.) auf und war standfest und leicht abbaubar. Im ganzen Bereich, in dem der Schlier an der Strossenbrust zu beobachten war, wies er mehr oder weniger vertikale Klüfte auf, die etwa parallel zum Terrassenabfall entlang der Bahn verlaufen und mehrheitlich mit 75-90° nach SW einfallen. Wesentlich weniger fielen mit 80-90° nach NE ein. Zusätzlich zu diesen größeren, durchlaufenden Klüften traten auch noch kleinere auf, die nur über mehrere Bänke zu verfolgen waren und sich dann in einer Sandlage verliefen. Diese zeigen eine allgemeine Auflockerung des Schliers an und traten naturgemäß oberflächennahe am häufigsten auf. Inwieweit die größeren in der Tiefe auch an Sandlagen enden, war nicht zu beobachten, da nur die obersten 5-6 m zu sehen waren. Somit beschränkte sich der betrachtete Bereich auf die höchsten Teile der Böschung.

Die Klüfte wiesen meist nur eine Öffnung von 1-2 mm auf, wenige aber auch 2-5 cm. Unmittelbar unter der Kiesüberlagerung zeigte der Schlier eine deutliche Oxydation (Braunfärbung) und Verwitterung (Abb. 9a) mit Auflockerung des Korngefüges. Die Verwitterung greift aber entlang der größeren Klüfte bis unter die Tunnelsohle in das Sediment ein, wodurch der unveränderte, blaugraue Schlier nur zwischen diesen in Resten erhalten war (Abb. 9b). Über diese Klüfte erfolgt auch die Entwässerung (s. u.).

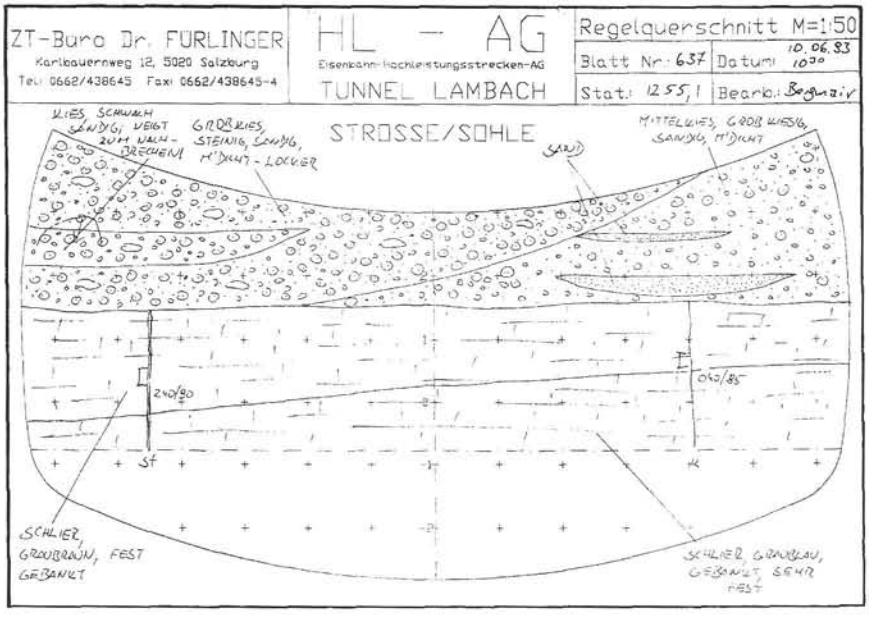
An den Klüften war an keiner Stelle eine vertikale Verstellung zu erkennen, so daß es sich hier ebenso um reine Dehnungsklüfte handelt. Sie konnten nur beim Strossenabbau im kurzen Bereich, in dem der Schlier über die Sohle aufstieg, beobachtet werden, wobei sich der Eindruck ergab, daß die Klüfte an Häufigkeit, Öffnungsweite und Oxydation nach Osten zu abnehmen. Eine weitere Beobachtung war aber durch das rasche Abtauchen in die Sohle nicht möglich.

Die Klüfte waren meist über die ganze Strossenhöhe bis unter die überlagernden Kiese zu verfolgen, setzten sich aber niemals in diese fort. Nur an einer Stelle, wo die oberste Schlierlage offensichtlich durch hohen Ton- und Schluffgehalt und stärkere Verwitterung und Durchfeuchtung plastischer war, endeten die Klüfte an deren Untergrenze.

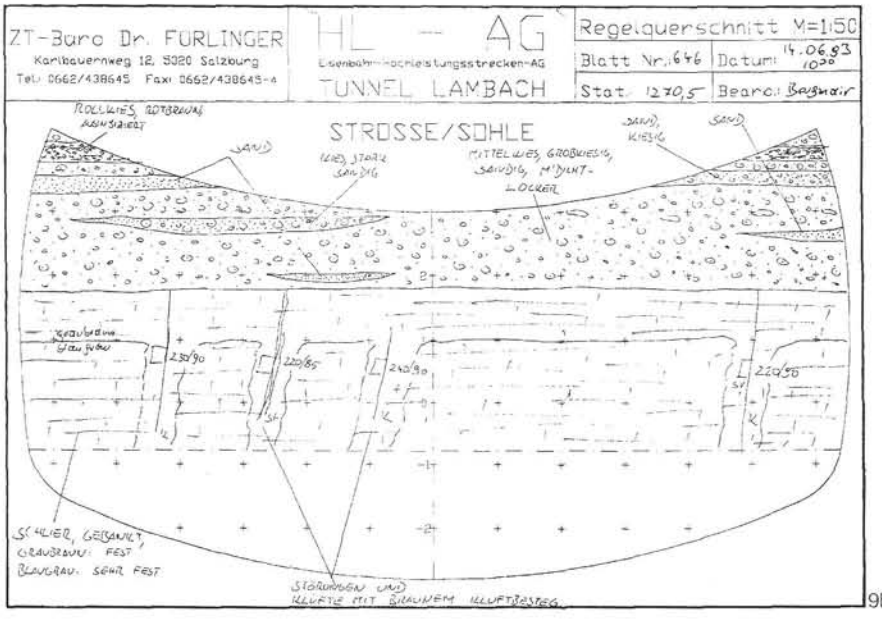
Auch bei diesen Klüften handelt es sich somit wohl um solche, die durch Bewegungen zur freien Oberfläche – gebildet durch die Erosion des Schwaigerbaches – entstanden sind.

Diese Dehnung kann frühestens nach der Erosionsphase des Flußsystems im Alpenvorland eingesetzt haben, als der Sockel der Deckenschotter deutlich unterschnitten wurde. Diese Erosionsphase erfolgte, wie wir wissen, vor der Akkumulation der Hochterrasse, auf der ja auch der Ort Lambach liegt. Demnach wurde auch im Bereich Schwaigerbach damals der Sockel zerschnitten und das freie Vorland geschaffen. Für ein derartig hohes Alter des Beginns des Prozesses spricht auch die starke Oxydation entlang der Klüfte,

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at



9a



9b

Abb. 9a, b
Der Schlier unter den Kiesen zeigte immer eine ca. 1-2 m tief reichende Verwitterungszone (Oxydation), die mit einer leichten Auflockerung des Korngefüges einher ging (9a). An weiter geöffneten Klüften ist die Verwitterung auch tiefer in den Schlier eingedrungen (9b). An den Klüften ist keine Verstellung der Sedimentkörper zu beobachten, so daß es sich offensichtlich um reine Dehnungserscheinungen in dem steifen, stark überkonsolidierten Material handelt. In den überlagernden Kiesen ist die Dehnung wohl durch kleinste Bewegungen der Körner zueinander erfolgt, wodurch keine Klüfte entstanden sind. Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Strossenbreite 13 m.

die ja auch seitlich weit in den Schlier eingegriffen hat (Abb. 9b).

Die Dehnung und das Aufreißen der Klüfte erfolgten nach dem Erscheinungsbild, wohl nicht zuletzt durch die Auflast der überlagernden Sedimente, wobei der überkonsolidierte steife Schlier Klüfte entwickelt, während in den Kiesen kleinste Bewegungen der Körner zueinander erfolgen. Ob der Vorgang kontinuierlich abläuft oder unter Permafrostverhältnissen durch das geänderte mechanische Verhalten verändert wird, kann nicht gesagt werden. Daß die Vorgänge in beiden Schichten zu Zeiten des Permafrost zusammenhängen und durch Eisschub eine Erweiterung der Klüfte eintrat, ist aber nicht möglich. Dabei müßten sich die Klüfte dann wohl aus dem Schlier in den Kieskörper fortsetzen.

4.7 Grundwasserverhältnisse

Aufgrund der Pegel, die in den Aufschlußbohrungen installiert wurden, war das Oberflächenniveau der Grundwasserbedeckung gut bekannt, so daß abschätzbar war, wo der Tunnel mit seiner Sohle in den Grundwasserkörper eintauchen würde (Abb. 2). Wegen der Möglichkeit einer Beeinflussung der Quellen und Brunnen an der Südseite der Hochfläche wurden ja vom Beginn der Voruntersuchungen an Schüttungsmessungen an den Quellen sowie Wasserstandsmessungen in Brunnen und den neu errichteten Pegeln (Abb. 1) durchgeführt. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich mehr als 1,5 Jahre über die Beendigung der Ausbruchsarbeiten in der Sohle des Tunnels im Grundwasserbereich hinaus.

Es zeigten sich bei allen Pegeln über die gesamte Bauzeit und die Periode danach nur Schwankungen in der Größenordnung von 10-20 cm und bis zu 50 cm (KB 14), was wohl auf gleichmäßige Verhältnisse in der Durchlässigkeit der Kiese (Sand) zurückzuführen ist. Dazu kommt noch, daß der geringe Gradient in dem gering mächtigen Grundwasserkörper keine wesentliche Strömung bewirken dürfte. Im Vöcklaschlier in den tieferen Teilen scheint eine gleichmäßige Wasserführung in Klüften und Sandlagen zu bestehen, die nur schwache jahreszeitliche Schwankungen aufweist. Ebenso waren an den Schüttungen der Quellen kleine Schwankungen aber keine Beeinflussung der Schüttung in Zusammenhang mit dem Baugeschehen im Tunnel zu bemerken.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

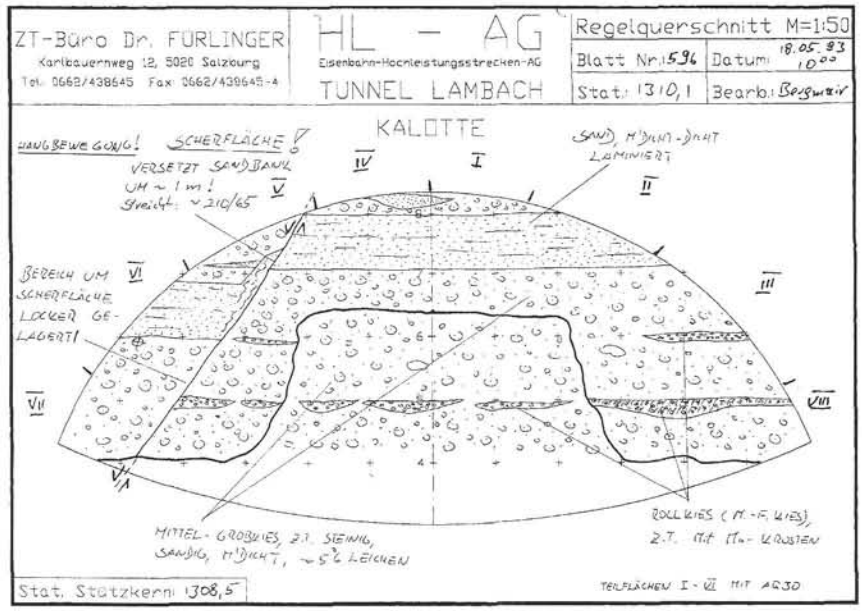


Abb. 10
Bei Station 1310,1 m (ca. 25 m orthogonaler Abstand zur Böschung) wurde die tiefst liegende Bewegungsbahn der Massenbewegung aufgeschlossen. Sie markiert das Ausgreifen der Massenbewegung im Terrassenkörper. Auffällig ist die geringe Breite der Auflockerungszone und die Zerstörung der Sedimentstrukturen entlang der Scherfläche. Brustbilder in Vortriebsrichtung von E gesehen. Kalottenbreite 12 m.

Im Bereich ab Station 900 bis 1100 m war es nötig bei den Aushub- und Sicherungsmaßnahmen im Sohlbereich eine Grundwasserabsenkung durchzuführen. Der Grundwasserzudrang war aber nicht sehr stark. Er konnte vom Aushub der Sohle bis zum Abschluß der Betonierarbeiten immer mit einer Pumpe im Pumpensumpf beherrscht werden um den Sohlbereich wasserfrei zu halten. In einer Rinne im Schlier wurde auch stärkerer Wasserzudrang (Abb. 3) von NW registriert (BERGMAIR 1993), der aber ebenso durch Pumpen leicht beherrscht werden konnte. Alle diese Maßnahmen hatten keinen erkennbaren Einfluß auf die Schüttung der Quellen am Ausgang des Stubengrabens, die am ehesten dadurch beeinflußt hätten werden können.

In der kurzen Strecke, wo der Tunnel aus den Grundwasser führenden Kiesen in den Schlier einschneidet, hätte sich durch den fertigen Tunnel eine bleibende Abdämmung eines Grundwasserstromes nach Süden ergeben. Um eine derartige Störung – wenn auch nur über die kurze Strecke – der vorgefundenen Verhältnisse zu vermeiden, wurden in diesem Bereich alle 10 m zwischen Sohle und Schlier Kiesstreifen eingebaut. Die Kiese wurden durch Vlies gegenüber dem Schlier und Spritzbeton vor Zuschlämmen geschützt. Sie gehen links und rechts in die Grundwasser führenden Kiese über und wirken somit wie Düker, die den Ausgleich verschiedener Grundwasserstände im Norden und Süden des Tunnels ermöglichen. Dadurch wurden die ursprünglichen Verhältnisse möglichst wieder hergestellt. Die durch Änderungen in diesem Gebiet am meisten gefährdeten Quellen am Ausgang des Stubengrabens (Abb. 1 Nr. 8, 9, 10) zeigten auch nach Abschluß der Arbeiten bis Ende der Beobachtungsperiode (1989-1994) keine Änderung in ihrem Schüttungsverhalten, wodurch die Wirksamkeit der Maßnahmen belegt ist.

4.8 Massenbewegung am Terrassenabfall

Aus manchen morphologischen Anzeichen wurde im Bereich des westlichen Tunnelportals eine junge Massenbewegung im Kieskörper vermutet (Abb. 2), die bis knapp unterhalb der Terrassenkante ausgegriffen hat (s. o.).

Beim Auffahren der Kalotte im Westen konnten mehrfach Verstellungen in den Kiesen von mehreren dm bis 1,5 m beobachtet werden, die teilweise in den Hangfuß einfielen und grabenartig abgesenkte Teile zum Tal zu begrenzten. Diese Strukturen zeigen an, daß hier der Fuß des Kieskörpers auf dem im Bahnniveau ausstreichenden Schlier abgeglitten ist und die hangseitigen Anteile als Blöcke abgesunken sind. Die Gleitung hat im Fußbereich ca. 20-25 m in den Kieskörper eingegriffen. In dieser Tiefe wurde beim Kalottenvortrieb die letzte Störung aufgeschlossen, an der das talseitige Kiespaket um 1 m abgeglitten war (Abb. 10).

5. Ergänzende Bemerkungen

Der Vortrieb in den Älteren Deckenschottern der Traun Enns Platte bei der Errichtung des Eisenbahntunnels in Lambach ermöglichte erstmals eine kontinuierliche Beobachtung über den Internbau dieser Kiesablagerungen und ihre Veränderung durch Verwitterung seit der Akkumulation.

Der große, der Beobachtung zur Verfügung stehende Ausbruchsquerschnitt von ca. 120 m² erlaubte die Analyse und Verfolgung auch ausgedehnter Phänomene, so daß ein gut fundiertes allgemeines Erscheinungsbild des Aufbaues der Deckenschotter gegeben werden kann. Diese, im Alpenvorland weit verbreiteten eiszeitlichen Sedimente, werden besonders im Verkehrswegebau auch in Zukunft immer wieder als Baugrund von Bedeutung sein.

Bei der Aufarbeitung der Beobachtungen während des Auffahrens des Tunnels schien ein Vergleich mit den erwarteten Erscheinungen und deren Auswirkungen auf den Tunnelbau von Interesse, da damit eine Überprüfung der allgemeinen geologischen Vorstellungen über Genese und Verwitterung derartiger eiszeitlicher Sedimente möglich wurde.

Die Prognose basierte einerseits auf diesen allgemeinen geologischen Vorstellungen (entstanden aus Beobachtungen natürlicher Aufschlüsse an Terrassenrändern und Gräben, sowie alten Kiesentnahmen und Konglomeratbrüchen und dem Wissen um die sedimentologischen Vorgänge bei der Bildung der Kiese), andererseits auf der Auswertung der Bohrungen, die am Beginn der Voruntersuchungen in Hinblick auf geotechnische und hydrogeologische Fragestellungen (WAIBEL 1990 a, b) abgeteuft wurden.

Diese weitgehend genetisch-sedimentologisch fundierte Prognose der zu erwartenden geologischen Gegebenheiten und auftretenden Materialien sowie deren mechanisches Verhalten beim Bau des Tunnels wurde durch die angetroffenen Verhältnisse generell gut bestätigt.

© Österreichische
Geologische Gesellschaft/Austria; download unter www.geol-ges.at/ und www.biologiezentrum.at

Die durch die matrixlosen „Rollkiese" mögliche Destabilisierung der Ortsbrust war an manchen Stellen ein mehr oder weniger großes Problem, das aber zu keinen größeren Behinderungen des Vortriebes führte, da Lagen oder Nester von mehr als 0,5 m Mächtigkeit glücklicherweise nicht auftraten. Ein Hauptaugenmerk lag von Beginn an auf den Veränderungen des Kieskörpers in seinen mechanischen Eigenschaften durch die Verwitterung.

Das Auftreten der Geologischen Orgeln und die durch sie verursachten Veränderungen des mechanischen Verhaltens der Kiese hat sich voll bestätigt. Es waren in den Sedimenten keinerlei Hinweise auf eine lokal erhöhte, vertikale Permeabilität oder Anhäufung besonders verwitterungsanfälliger Gerölle zu finden, die dieses lokale Verwitterungsphänomen erklären könnte. Da aber auch über den aufgefahrenen Geologischen Orgeln an der Oberfläche kein Hinweis auf eine möglicherweise lokal verstärkte Einsickerung mehr feststellbar war (starke Überprägung durch die Landwirtschaft), hat sich kein Aspekt ergeben, der zukünftig eine Prognose über das Auftreten und die Verteilung in den Kiesen ermöglichen könnte.

Deutlich unterschätzt wurde die Wirkung des breiten Muldentales auf die Versickerung und die dadurch fortgeschrittene Verwitterung in diesem Bereich. Wie sich im Verbruchstrichter zeigte, war aber die schützende Lößlehmschicht in diesem Bereich deutlich geringer mächtig als angenommen, wodurch die Versickerung und folglich die Verwitterung begünstigt wurden. Demnach sollte bei ähnlichen Fragestellungen im Vorfeld Mulden und Wannen eine gezielte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im Zuge der Analyse der Bohrkerne zeigte sich, daß bei Bohrungen in Bereichen der Geologischen Orgeln viele verwitterte Gerölle und ein deutlicher Anteil bindigen Materials, das zusätzlich auch deutlich oxydiert war, bis in große Tiefe auftraten. Das wiederholte Auftreten derartiger Materialien in einer Bohrung, unterbrochen von nicht oxydierten Kiesen, konnte richtigerweise als Randbereich einer derartigen Erscheinung gedeutet werden. Ein weiterer Hinweis auf die Nähe derartiger Verwitterungserscheinungen wurde beim Tunnelbau beobachtet. Besonders beim Vortrieb der Kalotte zeigte sich immer wieder, daß schon viele Meter vor dem Erreichen einer derartigen Verwitterungszone öfter in den matrixfreien Kiesen Verwitterungstone eingeschwemmt waren, wobei die Gerölle von den Tonen überzogen waren. Derartige Erscheinungen in unoxydierten Kiesen können somit auch in Bohrkernen auf nahe Geologische Orgeln oder lokale, stark verwitterte Zonen hindeuten.

Bohrungen in den kompakten, unoxydierten sandigen Kiesen zeigten unterhalb der verwitterten Deckschicht keinerlei Hinweise auf Verwitterungserscheinungen. Im Gegensatz dazu waren in diesen Bereichen aber beim Vortrieb in den Kiesen immer wieder einige verwitterte Gerölle (veraschte Dolomite, kaolinisierte Kristallingeschiebe) zu finden, die bis zu 1-2% der Geschiebe ausmachten ohne daß irgend eine Veränderung (z. B. Auflockerung) der Kiese oder deren mechanischer Eigenschaften eintrat (WAIBEL 1990 a).

Die wenigen verwitterten Geschiebe werden offensichtlich beim Bohrvorgang durch die mechanische Beanspruchung bei der Bewegung der Kieskörner gegeneinander zerrieben und gänzlich zerstört. Die Reste finden sich in der Sandfraktion, wo sie nur schwer als Bruchstücke mürber Gerölle erkennbar sind.

Eine völlig neue Erfahrung stellt die Beobachtung dar, daß sich Eiskeile des letzteiszeitlichen Permafrostes bis in 40 m Tiefe ausbilden konnten und sich heute durch eng begrenzte Auflockerungszonen dokumentieren oder teilweise sogar noch durch offene Spalten in den unverwitterten sandigen Kiesen erhalten haben. Die bisherigen Beobachtungen zeigten ein Eindringen von Eiskeilen bis einige Meter unterhalb der ehemaligen Auftauzone und eine Erhaltung der Form durch eine spätere Verfüllung mit Sand oder Löß, da sie ja sonst kaum erkennbar ist.

Ob es sich bei den beobachteten Formen um eine durch besondere Umstände ermöglichte lokale Erscheinung handelt oder ob diese öfter auftritt, müssen künftige Aufschlüsse zeigen.

Eine Erfassung derartiger Phänomene bei der Vorerkundung, die aus Gründen der Stabilität der Ortsbrust wünschenswert wäre, scheint derzeit nicht möglich, da außer kleinen offenen Spalten oder einer eng begrenzten Auflockerung keine Veränderung der Materialien eingetreten ist.

Literatur

BERGMAIR, M., 1993: Geologische Dokumentation Tunnel Lambach. – HL-AG Linz, 11 S.

CANT, D. C., 1982: Fluvial Facies Models and Their Application.– In: P. A. SCHOLLE & D. SPEARING (eds.): Sandstone Depositional Environments, 115-137. – The Amer. Ass. of Petroleum Geologists.

EPPENSTEINER, W., D. VAN HUSEN & R. KRZEMIEN, 1973: Beobachtungen an pleistozänen Driftblöcken des Marchfeldes. – Verh. Geol. B.-A., 331-336, Wien.

FLÖGL, H., 1970: Wasserwirtschaftliches Grundsatzgutachten Vöckla-Ager-Traun-Alm. – Amt OÖ Landesreg., Abt. Wasserbau-Hydrograph. Dienst, Linz, 12 S.

HUSEN, D. VAN, 1990: Tunnelprojekt Umfahrung Lambach. Geologische Beurteilung. – HL-AG Linz, 10 S.

KOHL, H., 1974: Die Entwicklung des quartären Flußnetzes im Bereich der Traun-Enns-Platte Oberösterreichs. – Hans-Graul-Festschr., Heidelberger Geogr. Arb., H. 40, 31-44, Heidelberg.

KOHL, H., 1997: Erläuterungen zu Bl. 49 Wels. In: KRENMAYR Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Bl. 49 Wels, 13-44. – Geol. B.-A., Wien.

KRENMAYR, H. G., 1997: Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Bl. 49 Wels mit Erläuterungen. – Geol. B.-A., Wien.

MÜLLER, L. & E. FECKER, 1978: Grundgedanken und Grundsätze der „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise". – Felsmechanik-Kolloquium Karlsruhe, 247-262. Trans. Tech. Publ. Clausthal.

REINECK, H.-E. & I. B. SINGH, 1989: Depositional Sedimentary Environments. With Refernce to Terrigenous Clastics, 551 S. – Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

RUPP, CH., 1997: Erläuterungen zu Bl. 49 Wels. In: H. G. KRENMAYR Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000 Bl. 49 Wels, 46-56. – Geol. B.-A., Wien.

VAVROVSKY, G. M., 1994: Gebirgsdruckentwicklung, Hohlraumverformung und Ausbaudimensionierung. – Felsbau, 5/94, 312-329, Glück Auf GmbH, Essen.

WAIBEL, P., 1990a: Geotechnisches Gutachten Umfahrung Lambach. – HL-AG Linz, 62 S.

WAIBEL, P., 1990b: Hydrogeologisches Gutachten Umfahrung Lambach. – HL-AG Linz, 28 S.

Manuskript eingegangen am: 16. 12. 1998
Revidierte Fassung eingegangen am: 06. 08. 1999
Manuskript akzeptiert am: 13. 09. 1999

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Austrian Journal of Earth Sciences

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 90

Autor(en)/Author(s): Husen Dirk van

Artikel/Article: Geologisch-baugeologische Erfahrungen beim Bau des Eisenbahntunnels Lambach, OÖ. 137-154