

Vortrag am 5.11.2004

10:40 – 11:10

**"Die beim Vortrieb des Tunnels Vomp -Terfens angetroffenen  
geologischen Verhältnisse"**

Markus SCHOLZ, Baugeologisches Büro Bauer, Garching

**Die geologischen Verhältnisse des Tunnels Vomp-Terfens**

Marcus Scholz & Manfred Köhler

Dr. Marcus Scholz, Team Baugeologie Vomp (Baugeologisches Büro Bauer/München & Dr. Sven Jacobs/Korneuburg), Neue Landstraße 4a, A-6123 Terfens, marcusscholz@mac.com

Dr. Manfred Köhler, Brenner Eisenbahn Gesellschaft, Neuhauserstraße 7, A-6020 Innsbruck manfred.koehler@beg.co.at

**Zusammenfassung**

Der Tunnel Vomp-Terfens ist das erste Hauptbaulos der neuen Unterinntaltrasse zum Ausbau der Strecke München – Verona auf österreichischem Staatsgebiet. Es handelt sich hierbei um einen ca. 7,3 km langen zwei- und dreigleisigen Tunnel in bergmännischer Bauweise. Einer der drei Tunnelvortriebe durchörtert die Festgesteine der kalkalpinen Trias. Die beiden im Westen gelegenen Vortriebe verlaufen nahezu vollständig in den quartären Lockergesteinen der Gnadenwald-Terrasse. Im westlichen dieser Teilabschnitte wurden bis Januar 2005 Grundmoränenmaterial, Terrassenschotter und verschiedene Eisrandbildungen angetroffen. Bemerkenswert ist, dass die quartären Sedimente durch steil stehende Störungen durchtrennt waren. Diese Störungen wirkten als Wasserstauer und untergliederten den Aquifer in einzelne Becken. Die Auswertung der Ortsbrustkartierungen und der Erkundungsbohrungen ergibt Hinweise auf einen Staffelbruch in den quartären Sedimenten. Als Ursache für den Staffelbruch können vermutlich Setzungen innerhalb der Lockergesteinsfüllung des Inntals - insbesondere innerhalb der Seesedimente - gesehen werden. Die ingenieurgeologischen Besonderheiten werden am Rande erläutert.

**1 Übersicht**

1996 nahm die BEG mit der Aufgabe der Realisierung des Ausbaus der Strecke München – Verona auf österreichischem Staatsgebiet ihre Tätigkeit auf. In einem ersten Schritt galt es, den Streckenabschnitt Kundl/Radfeld–Baumkirchen der Zulaufstrecke Nord mit einer Längserstreckung von ca. 40 km baureif zu planen. Der heutige Trassenverlauf im Unterinntal ist das Ergebnis einer intensiven planerischen Auseinandersetzung mit den für die Umweltverträglichkeitsprüfung relevanten Schutzgütern und den Anforderungen einer Hochleistungsstrecke.

Der Abschluss der UVP konnte mit dem Umweltverträglichkeitsgutachten plangemäß im Jahr 1999 erreicht werden. Die eisenbahnrechtliche Baugenehmigungsverhandlung wurde im Herbst 2001 abgewickelt. Im Frühjahr 2002 wurde schließlich der Bescheid zur Baugenehmigung erteilt. Um eine effiziente Bauabwicklung zu ermöglichen erfolgte eine Einteilung der Gesamtstrecke in insgesamt sieben Baulose.

Im August 2003 erfolgte der Baubeginn der Hauptbaumaßnahmen im Hauptbaulos H5, Tunnel Vomp/Terfens. Mit den bergmännischen Vortriebsarbeiten selbst wurde im Oktober 2003 begonnen. Es handelt sich hierbei um einen 7.735 m langen 2-gleisigen Tunnel in bergmännischer Bauweise mit einem Ausbruchsquerschnitt von ca. 111 m<sup>2</sup> bzw. 125 m<sup>2</sup>. Über eine Länge von 2.276 m wird ein 3-gleisiger Abschnitt mit 202 m<sup>2</sup> Ausbruchsquerschnitt für einen Überholbahnhof errichtet. Die Gesamtbauzeit für den gegenständlichen Tunnel beträgt ca. 41 Monate. Das vertragliche Gesamtbauende ist im Januar 2007 vorgesehen.

Der Tunnel wird von insgesamt drei Angriffen aus aufgeföhren. Zwei bergmännische Vortriebe erfolgen vom Zwischenangriff über eine Zugangskaverne in der Schottergrube „Derfesser“: Richtung Osten der Vortrieb H5O von km 52,112 bis km 48,120 (3.992 lfm Tunnel) und Richtung Westen der Vortrieb H5W von km 52,112 bis km 54,055 (1.943 lfm Tunnel). Der Vortrieb H5T wird von Terfens aus zwischen km 55,755 bis km 54,055 (1.700 lfm Tunnel) durchgeführt. Gemäß dem letztgültigen Planungsstand werden ca. 4.325 lfm im Lockermaterial und ca. 3.310 lfm im Festgestein vorgetrieben. Von NBS-km 55+755 bis NBS-km 55+855 wird der Tunnel in offener Bauweise hergestellt.

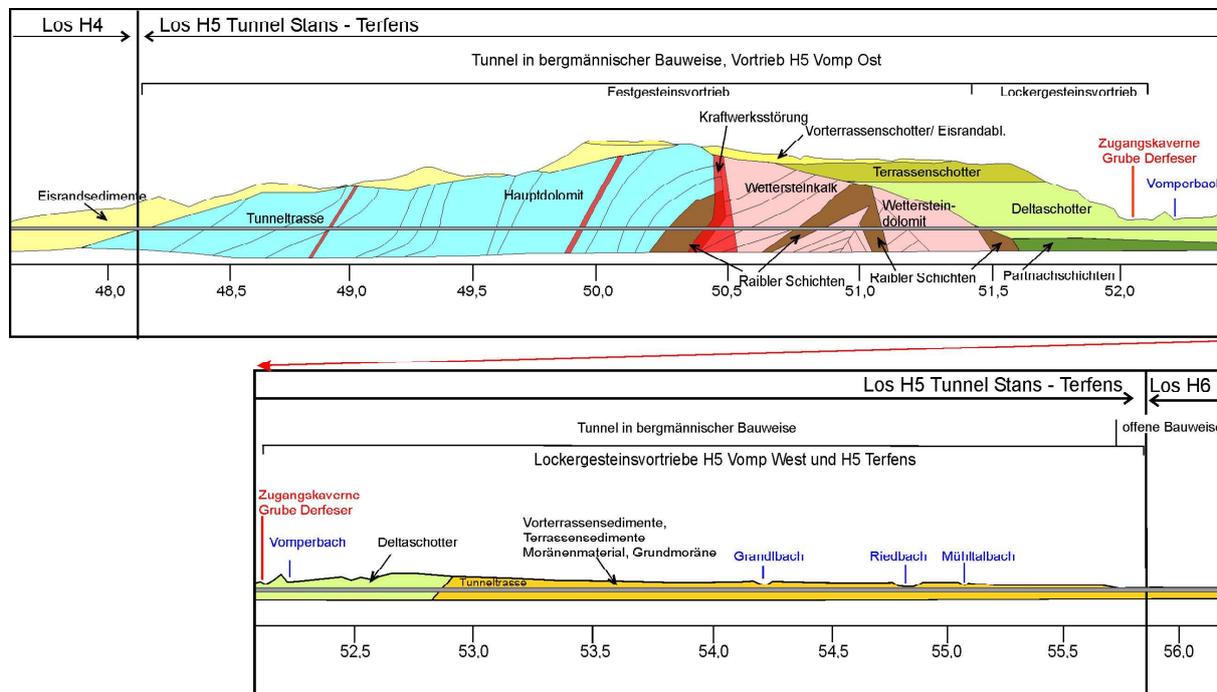
Zusätzlich werden zur Erfüllung der Sicherheitsvorschriften außer dem bereits zu einem großen Teil im Rohbau errichteten Rettungstollen zwei Rettungsschächte sowie drei Seitenstollen erbaut. Das Gesamtausbruchsvolumen für das Baulos H5 beläuft sich auf etwa 1.180.000 m<sup>3</sup>

## 2 Geologie im Projektgebiet

### 2.1 Geologischer Überblick

Der Vortrieb H5O liegt im Bereich des von Lockergesteinen bedeckten Felsrückens des Vomper Berges. In diesem Abschnitt werden einerseits die unterschiedlichen Festgesteine der Walderjoch Antiklinalzone nördlich von Fiecht sowie die Festgesteine der Vomperbach Schuppenzone durchörtert (Raibler Formation, Wetterstein Formation und Hauptdolomit Formation). Andererseits verläuft der Vortrieb H5O in den Lockergesteinen des Vomperbaches.

Die Vortriebe H5W und H5T verlaufen nahezu vollständig in den quartären Lockergesteinen der Terfener- bzw. Gnadenwald-Terrasse. Im östlichsten Teilabschnitt werden auch die Deltasedimente des Vomper Baches und alluviale Schwemmfächersedimente durchörtert.



**Abb. 1:** Tunnel Vomp-Terfens, geologischer Längsschnitt entlang der Trasse.

Zur Erläuterung der Lagerungsverhältnisse und der Altersbeziehungen im Lockergestein diene folgende Tabelle:

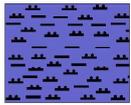
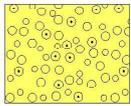
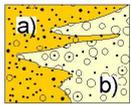
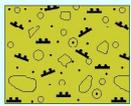
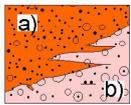
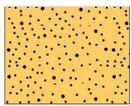
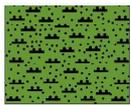
Darstellung	Fazielle Einheit	Kurzbeschreibung
	Austufe	Schluffige Feinsande, beigebraun bis beige-grau, dicht bis lose gelagert.
	Innschotter	Sandige, gering schluffige Fein- bis Mittelkiese selten Grobkiese. Bereiseweise kiesige Sande und schluffige Sande. Mitteldicht bis lose gelagert.
	a) Vorterrassenschotter b) Schwemmfächer-sedimente des Vomperbaches	Weitgestufte sandige, schluffige Kiese mit wechselnden Anteilen von Steinen und Blöcken. Unterschiedliche Lagerungsdichten. Zu a) Buntes Geröllspektrum, nicht verkittet. Zu b) vorwiegend kalkalpines Geröllspektrum, untersch. stark kalzitisch verkittet.
	Würmeiszeitliche Grundmoräne	Stark schluffige Kiese und Kies-Schluffgemische mit wechselnden Anteilen von Steinen und Blöcken. Sehr dicht gelagert, bzw. von halbfester bis fester Konsistenz (überkonsolidiert).
	a) Terrassenschotter b) Deltaschotter des Vomperbaches	Weitgestufte sandige, schluffige Kiese mit wechselnden Anteilen von Steinen und Blöcken. Unterschiedliche Lagerungsdichten. Zu a) Buntes Geröllspektrum, nicht verkittet. Zu b) vorwiegend kalkalpines Geröllspektrum, st. kalzitisch verkittet/konglomeriert.
	Sande der Terrasse	Kiesige Fein- bis Grobsande (Braunsandfazies) und schluffige, stark glimmerhaltige Fein- bis Mittelsande (Grausandfazies). Sehr dicht gelagert.
	Bänderschluften der Terrasse	Feinsandige Schluffe, tonige Schluffe und schluffige Sande, fein geschichtet, sehr dicht gelagert bzw. von halbfester bis fester Konsistenz.

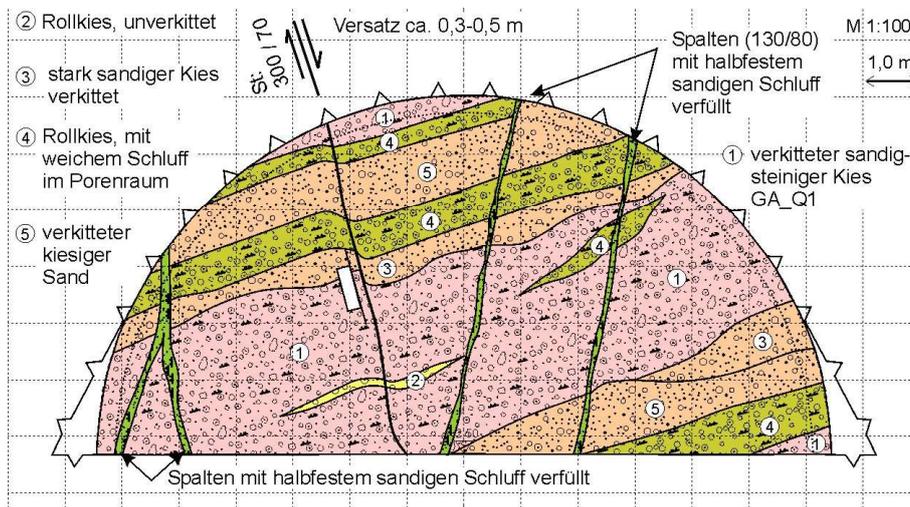
Abb. 2: Lagerungsverhältnisse der Lockergesteine im Projektgebiet.

## 2.2 Angetroffene Verhältnisse und Vortrieb

Auf der von Oktober 2003 bis Januar 2005 im Vortrieb Terfens aufgefahrene Strecke bis TM 740 wurden Vorterrassenschotter (umgelagertes Moränenmaterial und verschiedene Eisrandbildungen), Grundmoräne, Terrassenschotter sowie Sande und Schluffe der Terrasse als Basis der Lockergesteinsabfolge (Abb. 2) angetroffen. Der Vortrieb im vorwiegend rolligen Gebirge erfolgte als Baggervortrieb mit Abschlagslängen von 1,0 m, wobei die Ortsbrust in Teilflächen geöffnet wurde. Die Methode der Voraussicherung wurde stets den geologischen und geotechnischen Gegebenheiten angepasst. So kamen streckenweise Rohrschirme und streckenweise Spießschirme zum Einsatz. Die Schotterkörper der Vorterrasse und der Terrasse beherbergten zusammenhängende Bergwasserspiegel, die auf weiten Strecken mittels Drainagebohrungen vom Vortrieb aus vorseilend entwässert werden konnten. Bemerkenswert war die Unterteilung des Aquifers durch steil stehende, tonig-schluffig gefüllte Störungen, die in den quartären Sedimenten ausgebildet waren. Diese Störungen, an denen Versätze der Schichten bzw. Versätze zwischen den Terrassenschottern und dem Moränenmaterial von mehr als 8 m zu kartieren waren, verliefen schleifend und nahezu senkrecht zur Vortriebsrichtung. Die Störungen wirkten als Wasserstauer und untergliederten den Aquifer in einzelne Becken.

Die Vortriebe Vomp Ost und Vomp West lagen über weite Strecken in den unterschiedlich stark verkitteten Deltasedimenten des Vomperbaches. Die kalkalpinen Kiese, Sande und Schluffe waren auf weiten Strecken stark verkittet bzw. konglomeriert. In den verkitteten Deltasedimenten konnten unter Ausnutzung der sehr guten Drainagewirkung des parallel zum Haupttunnel und bergwärts gelegenen Erkundungsstollens bei abgesenktem Bergwasser-spiegel hervorragende Vortriebsleistungen im Hauptvortrieb erzielt werden. Die aus dem Vortrieb des Erkundungsstollens bekannten Schwierigkeiten (Wasserzutritte bis 10 l/s, Aus-fließen von Material) traten beim Vortrieb

des Haupttunnels nicht mehr auf. Die auf weiten Strecken stark verkitteten Deltasedimente des Vomperbaches ließen sich im Kalottenquer-schnitt meist ohne Voraussicherung vollflächig bei Abschlagslängen bis 1,2 m problemlos mit der Baggeranbaufräse lösen. Das Gebirge war infolge der Voraussicherung über den Rettungsstollen erdfeucht und selten feucht. Es waren nur wenige tropfende oder schwach rinnende ( $<0,05$  l/s) Wasserzutritte zu verzeichnen gewesen. Der Schotterkörper war durch eine Vielzahl von steil stehenden Störungen und schluffgefüllten Spalten durchtrennt. An den Störungen konnten Versatzbeträge (Abschiebungen) von bis zu 0,7 m kartiert werden.



**Abb. 3:** Störungen und Spalten in den verkitteten Deltasedimenten des Vomperbaches, Kartierung bei TM 17,2 im Vortrieb Vomp West.



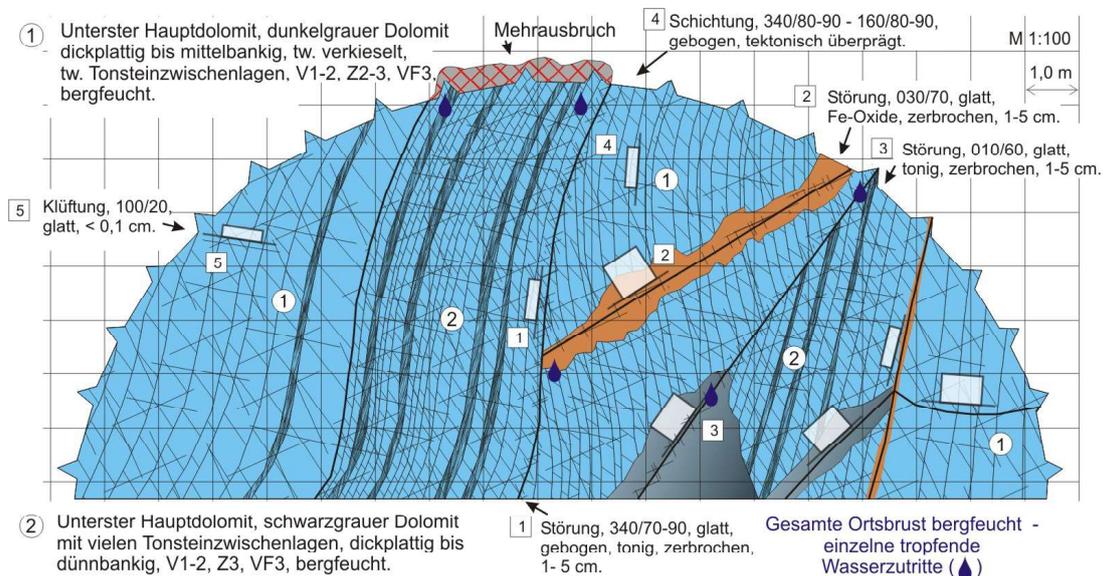
**Abb. 4:** Störungen und Spalten in den verkitteten Deltasedimenten des Vomperbaches, Foto bei TM 20,6 im Vortrieb Vomp Ost.

Etwa bei TM 640 erreichte der Vortrieb Vomp Ost mit den Tonschiefern, Dolomiten, Sandsteinen und Anhydrit der Raibler Schichten das Festgestein. Von TM 675 bis TM 1740 lag der Vortrieb Vomp Ost in den stark zerscherten und zerbrochenen Dolomiten der Wetterstein Formation, in die drei mächtige Späne aus Gesteinen der Raibl-Formation eingeschuppt waren.



**Abb. 5:** Gesteine der Raibler Schichten (Tonstein, Dolomit, Anhydrit Gips, Rauhwacken) mit einem Karstschlot in den Evaporiten, der mit braunen Dolomitsanden verfüllt war. Foto bei TM 667,3 im Vortrieb Vomp Ost.

Von TM 1740 an lag der Vortrieb in den unterschiedlichen Dolomiten der Hauptdolomit-Formation. In der bisher aufgefahrenen Festgesteinsstrecke bis TM 3000 gab es aufgrund der effektiven Voraussentwässerung durch den bergseitig, parallel zum Hauptvortrieb verlaufenden Erkundungsstollen keine nennenswerten Wasserzutritte in der Kalotte oder Strosse. Aus dem Erkundungsstollen strömen derzeit ca. 120 l/s Wasser. Der Großteil der aufgefahrenen Strecke konnte im dreigleisigen Kalottenquerschnitt bogenfrei unter Anwendung von Stahlfaserspritzbeton bei Abschlagslängen von 2,0 – 2,2 m aufgefahren werden.



**Abb. 6:** Dünn- bis mittelbankige Dolomite mit zerscherten Tonsteinzwischenlagen, Unterster Hauptdolomit (Vomp member), Kartierung bei TM 2408,8 im Vortrieb Vomp Ost.

Der Vortrieb Vomp West erreichte etwa bei TM 406 die Sande und Schluffe der Terfener Terrasse und etwa bei TM 426 die mehr oder minder stark verkitteten Schwemmfächersedimente des Vomberbaches sowie die Vorterrassenschotter. Seit TM 730 liegt der Vortrieb vollständig in den unterschiedlichen Kiesen der Vorterrassenschotter. Aufgrund der hohen Lagerungsdichte, des günstigen Wassergehaltes des Gebirges und der günstigen Korngrößenverteilungen war es auf weiter Strecke (von TM 750 bis TM 1342) möglich, die Kalotte mit vorauseilender Sicherung durch 4 m

Spieße (sowohl SN-Spieße als auch Verpressrohrspieße) vorzutreiben. Die Kalotte wurde bei Abschlagslängen von 1,0 m in 4 bis 10 Teilflächen geöffnet. Bei TM 1342 wurde, da sich das Gebirge verschlechterte (höherer Wassergehalt, höherer Anteil an Feinkorn im Schotter und zahlreiche dünne Schlufflagen) auf die Voraus-sicherung mittels Rohrschirm umgestellt. Die Setzungen an der Oberfläche erreichten in der Rohrschirmstrecke etwa 5-6 cm. Im Vortrieb gab es bisher keine nennenswerten Wasser-zutritte.

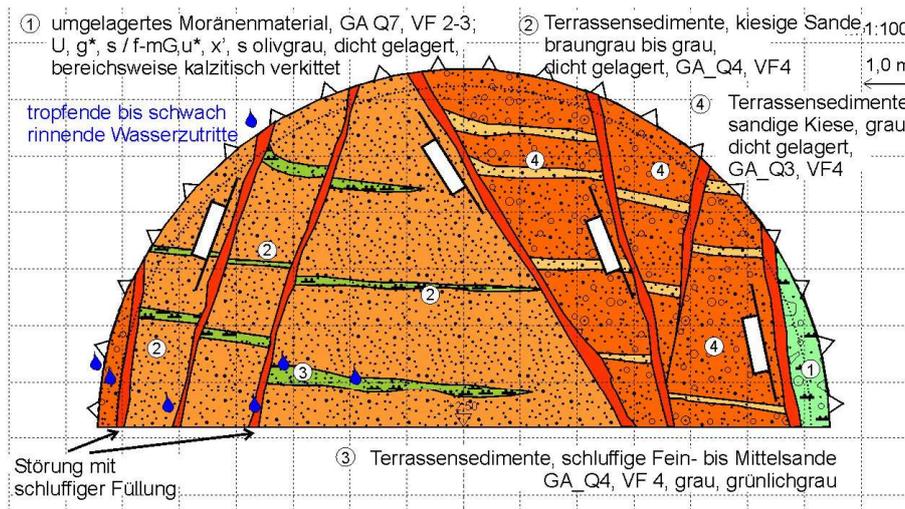
### 3 Störungen im Lockergestein - Befund

Seit langem sind Störungen und mit Schluffen verfüllte Spalten in den pleistozänen Deltaschottern des Vomperbaches bekannt. In der Kiesgrube Derfesser in der Gemeinde Vomperbach sind diese in den unterschiedlich stark verkitteten kalkalpinen Deltaschottern aufgeschlossen. In den anderen quartären Lockergesteinen waren die Störungen hingegen unbekannt. Waren in der Planung vor allem das Erosionsrelief der Grundmoräne und der Sedimente der Hauptterrasse als Hauptprognoserisiken ausgewiesen, so erwiesen sich im Vortrieb zusätzlich steil stehende Störungen, welche das gesamte quartäre Sedimentpaket durchsetzten, als eine wesentliche Vortriebserschwerwis.

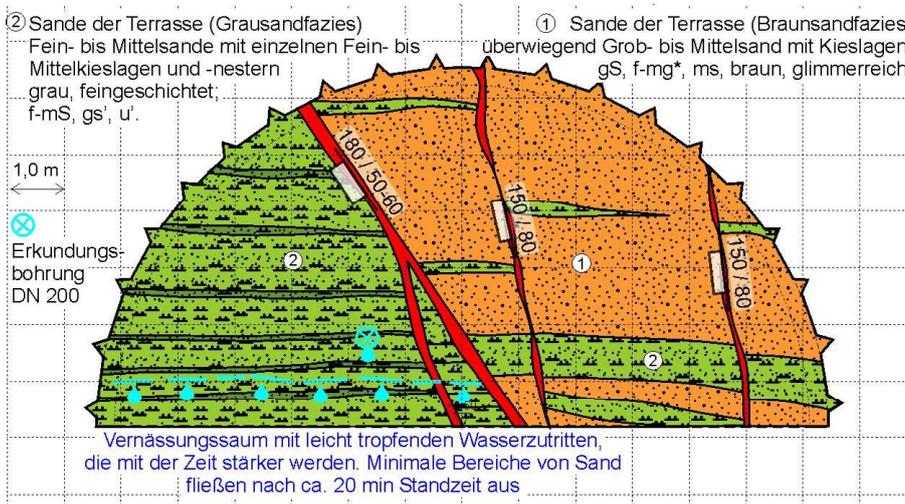


**Abb. 7:** Foto einer Störung in den Terrassenschottern bei TM 304,7 im Vortrieb Terfens.

Von TM 230 an traten die Störungen auf. Sie verliefen schleifend und stumpfwinkelig zur Tunnelachse.



**Abb. 8:** Störungen in den Sedimenten der Terrasse, Kartierung bei TM 566,4 im Vortrieb Terfens.



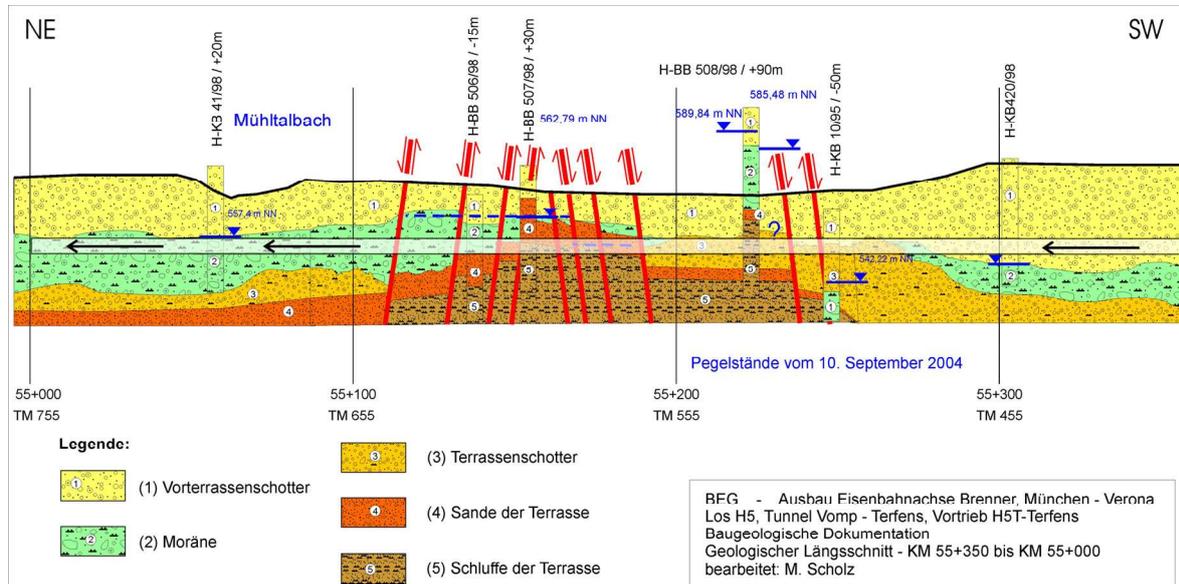
**Abb. 9:** Störungen in den Sanden der Terrasse, Kartierung bei TM 596,7 im Vortrieb Terfens.

Diese Störungen waren mit braunem, sandig-kiesigem Schluff oder mit grauen Ton-Schluff-Gemischen steifer Konsistenz verfüllt und wirkten somit als Wasserstauer. Sie traten in Abständen von 5 bis 15 m auf. Entlang der Störungen waren die Schichten der Terrassen-schotter und die Gesteinsgrenze zwischen den Terrassenschottern und dem Moränenmaterial gegeneinander versetzt. Es konnten Versatzbeträge von größer 8 m zwischen den Terrassenschottern und dem umgelagerten Moränenmaterial bzw. zwischen den Braunsanden und den Grausanden der Terrasse im Kalottenquerschnitt dokumentiert werden. Der Bewegungssinn ist zumeist folgender: Abschiebung der einzelnen Schollen talwärts (ca. 110-180°), mit wechselndem Einfallen der Schichtung innerhalb der einzelnen Schollen, was den Bewegungsrichtungen innerhalb einer antithetischen Abschiebung talwärts entsprechen würde.

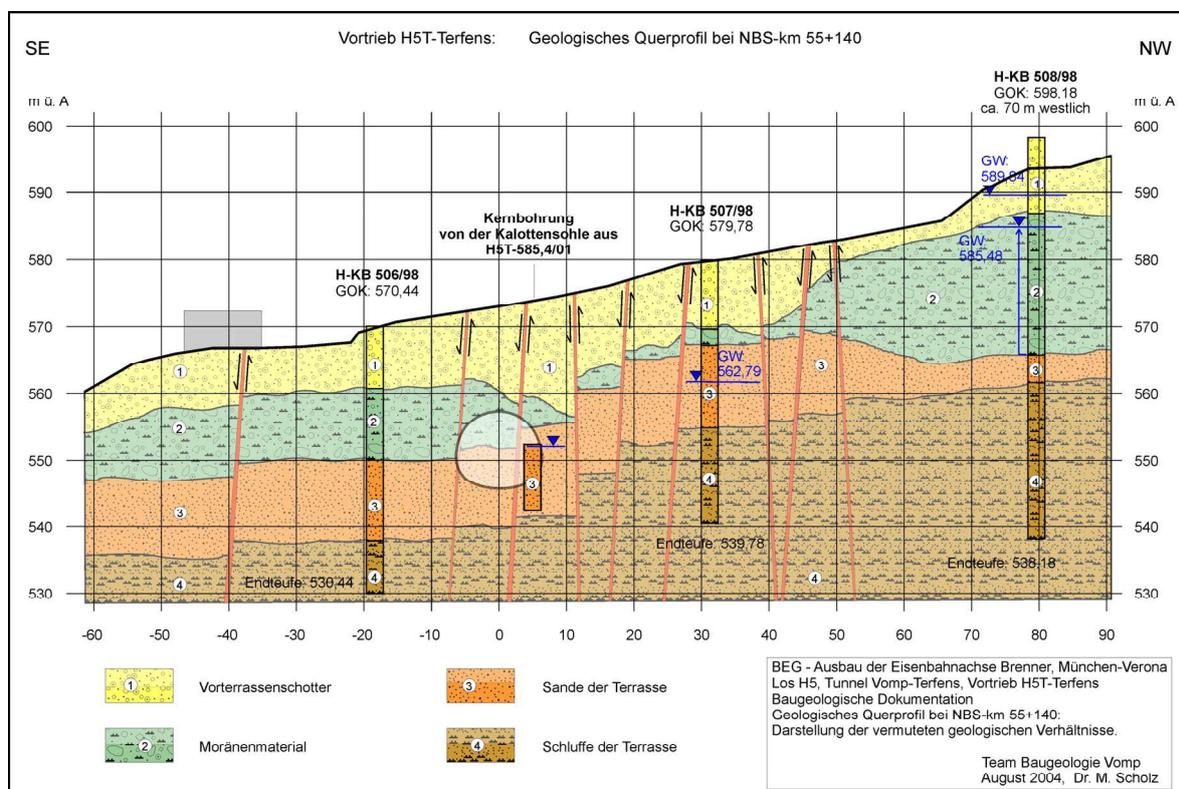
#### 4 Staffelbruch – Modell und mögliche Ursachen

Die zusammenschauende Auswertung der geologischen Ortsbrustkartierungen ergab Lagerungsverhältnisse und ein Störungsmuster, die sehr deutlich für großräumige Setzungen sprechen. Die Begutachtung der im Projektgebiet befindlichen Erkundungsbohrungen ermöglicht die Interpretation, dass es sich bei den im Vortrieb durchhörten Strukturen um Bereiche eines großräumigen Staffelbruches (Abb. 10 u. 11) bzw. einer Horst- und Graben-Struktur handelt. Die

Hinweise auf eine Horst- und Graben-Struktur innerhalb eines Staffel-bruches ergeben sich aus der Abfolge der im Vortrieb durchörterten Schichten, die auf Niveau der Trasse folgende war: Vorterrassenschotter und Moränenmaterial – Terrassenschotter – Störung – Braunsande der Terrasse – Störung – Grausande und Schluffe der Terrasse – Störung – Vorterrassenschotter und Moräne.



**Abb. 10:** Geologischer Längsschnitt von NBS-km 55+350 bis NBS-km 55+000, Vortrieb Terfens, das modellhaft die Horststruktur im Bereich der Tunneltrasse zeigt.



**Abb. 11:** Querprofil bei TM 615 im Vortrieb Terfens, das den Staffelbruch zeigt.

Als Ursache für den Staffelbruch können Setzungen innerhalb der Lockergesteinsfüllung des Inntals insbesondere innerhalb der Seesedimente gesehen werden. Hiefür spricht vor allem die Beobachtung, dass Störungen in quartären Ablagerungen im Projektgebiet nur dort auftreten, wo auch im

Liegenden der gestörten Schichten Seesedimente erbohrt wurden. Die Setzungen sind vermutlich nicht rezent aktiv, da in der Region keinerlei Setzungsschäden an der Bebauung bekannt sind.

Es ist vorstellbar, dass die verschiedenen Schichten der Vorterrasse und der Terrasse während der Beeinflussung durch die Setzungen infolge von Permafrost gefroren waren und sich deshalb Bruchmuster darin ausbilden konnten, wie sie eigentlich nur im Festgestein zu erwarten wären.

## **5 Ingenieurgeologische Aspekte**

Das Auftreten der Störungen im Vortrieb Terfens bedingte verschiedene bautechnische Schwierigkeiten. Eine Schwierigkeit lag in unerwarteten, kleinräumigen Materialwechslern von rolligen Kiesen und bindigem Moränenmaterial. Das Ausbruchverhalten des Gebirges war dadurch sehr wechselhaft. Die Art und Weise der Voraussicherung musste entsprechend angepasst werden. Aufgrund der hohen Lagerungsdichte, der Korngrößenverteilungen und des günstigen Wassergehaltes des Gebirges war es auf der Vortriebsstrecke von TM 218 bis TM 464 möglich, die Kalotte mit vorauseilender Sicherung durch 4 m Spieße anstelle der geplanten Voraussicherung mittels Rohrschirm vorzutreiben. Die übrigen Strecken mussten im Schutze des Rohrschirmes aufgeföhren werden, wobei die Rohrschirmbohrungen als Erkundungsbohrungen und Entwässerungsbohrungen genutzt werden konnten.

Eine weitere Schwierigkeit lag in der Unterteilung des Aquifers durch die Störungen in einzelne mehr oder minder abgeschlossene Becken. Eine systematische Voraussicherung vom Vortrieb aus war somit nur schwer zu gewährleisten. Bis etwa TM 230 traten keine Störungen im Schotterkörper auf, so dass der frei im Schotterkörper der Vorterrasse befindliche Bergwasserkörper über Drainagen aus der Kalottensohle vorauseilend und nachhaltig drainiert werden konnte. Der Baugrund war etwa von TM 230 an durch zahlreiche Störungen und durch einzelne schluffige Schichten kleinräumig in einzelne Kassetten untergliedert und beherbergte einen inhomogen verlaufenden Bergwasserspiegel, der nur unter großem Aufwand vom Vortrieb aus zu entwässern war.

Etwa ab TM 570 wurde der gesamte Querschnitt von den Sanden der Terrasse eingenommen (Hochlage des Horstes). Störungen, die mit sandigen Schluffen verfüllt waren, durchtrennten das Gebirge. In den Sanden wurde ein weiterer teilgespannter Bergwasserkörper angetroffen. Die Sande konnten nicht vom Vortrieb aus entwässert werden. Die Vortriebsarbeiten wurden aufgrund der angetroffenen hydrogeologischen Verhältnisse unterbrochen. Zur voraussicheren Entwässerung wurden zwischen TM 589 und TM 640 11 Brunnen von der Geländeoberfläche aus hergestellt. Diese Maßnahme hatte größten Erfolg, so dass der Kalottenvortrieb bald nach Inbetriebnahme der ersten Brunnen wieder aufgenommen werden konnte.