

## **Maßnahmen im Tunnelbau zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers**

E. Neubauer<sup>1</sup>

In den letzten Jahrzehnten erlangten im Tunnelbau Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers auf Grund eines gesteigerten Umweltbewusstseins sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen zunehmenden Stellenwert. In der einschlägigen Fachliteratur wird diesen Maßnahmen leider nur relativ wenig Raum gewidmet.

Im Folgenden werden baupraktisch umgesetzte Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers am Beispiel des Mona-Lisa-Tunnels, der im Zuge der Umfahrung Ebelsberg in den Jahren 1998 bis 2000 errichtet wurde, erläutert. Bei diesem Projekt mussten durch geeignete Maßnahmen bleibende Beeinflussungen eines relativ gering mächtigen Grundwasserkörpers mit niedriger Durchflussrate durch einen neu zu errichtenden Tunnel verhindert werden.

### **DAS PROJEKT**

Die Umfahrung Ebelsberg, im Südosten der Landeshauptstadt Linz gelegen, verbindet von Asten kommend die B 1 mit der A 7. Über einen Kreisverkehr an die B 1 angeschlossen verläuft die neue Umfahrungsstraße durch den Mona-Lisa-Tunnel, in dessen Zuge auch die Westbahn unterfahren wird, quert im Anschluss daran die Traun und führt östlich der Westbahn bis zum VOEST-Knoten, welcher den Anschluss an die A 7 Mühlkreisautobahn bildet.

Der Mona-Lisa-Tunnel besteht aus den offenen Bauweisen West (Länge ca. 260 m) und Ost (Länge ca. 140 m) sowie dem ca. 375 m langen, in bergmännischer Bauweise aufgefahrenen Tunnel selbst (Abb.1). Der bergmännische Tunnel wurde konventionell im zyklischen Vortrieb nach den Grundsätzen der NÖT aufgefahren. Die Sicherung des Ausbruchs erfolgte durch Gitterbögen, bewehrtem Spritzbeton und abschnittsweiser Systemankerung; als Voraussicherung des Ausbruchsrandes gelangten Stahldielen zum Einsatz.

Die Tunneltrasse verläuft im Süden bzw. Südwesten einer ausgedehnten Wohn- und Kleingartensiedlung, deren Wasserversorgung zu einem großen Teil durch Hausbrunnen sichergestellt wird.

Bereits im Zuge der Baugrunderkundung für dieses Projekt, bei der insgesamt 14 Kernbohrungen niedergebracht wurden, war erkennbar, dass der Tunnel über weite Strecken in Grundwasser führenden Lockergesteinen aufzufahren sein wird.

Zur detaillierten Erkundung der Grundwasserverhältnisse wurden daher im Anschluss an die Baugrunderkundung mittels Kernbohrungen drei Langzeitpumpversuche, für deren Beobachtung und Auswertung zusätzlich elf als Hammerbohrungen niedergebrachte Pegelbohrungen abgeteuft wurden, ausgeführt.

---

<sup>1</sup> Mag. Erhard NEUBAUER, Ingenieurkonsulent für technische Geologie, Graz, office@zt-neubauer.at

Ergänzend dazu erfolgte ab dem Jahre 1994 eine umfangreiche hydrologische Beweissicherung, in die alle im näheren Umkreis der Tunneltrasse gelegenen Wasserentnahmestellen aufgenommen wurden. Die Beweissicherungsmessungen wurden ab 1996 weiter verdichtet. In den erfassten Brunnen wurde über mehrere Jahre hinweg die Tiefenlage des Grundwasserspiegels in zumindest monatlichem Intervall gemessen und die dabei erhobenen Daten entsprechend aufbereitet.

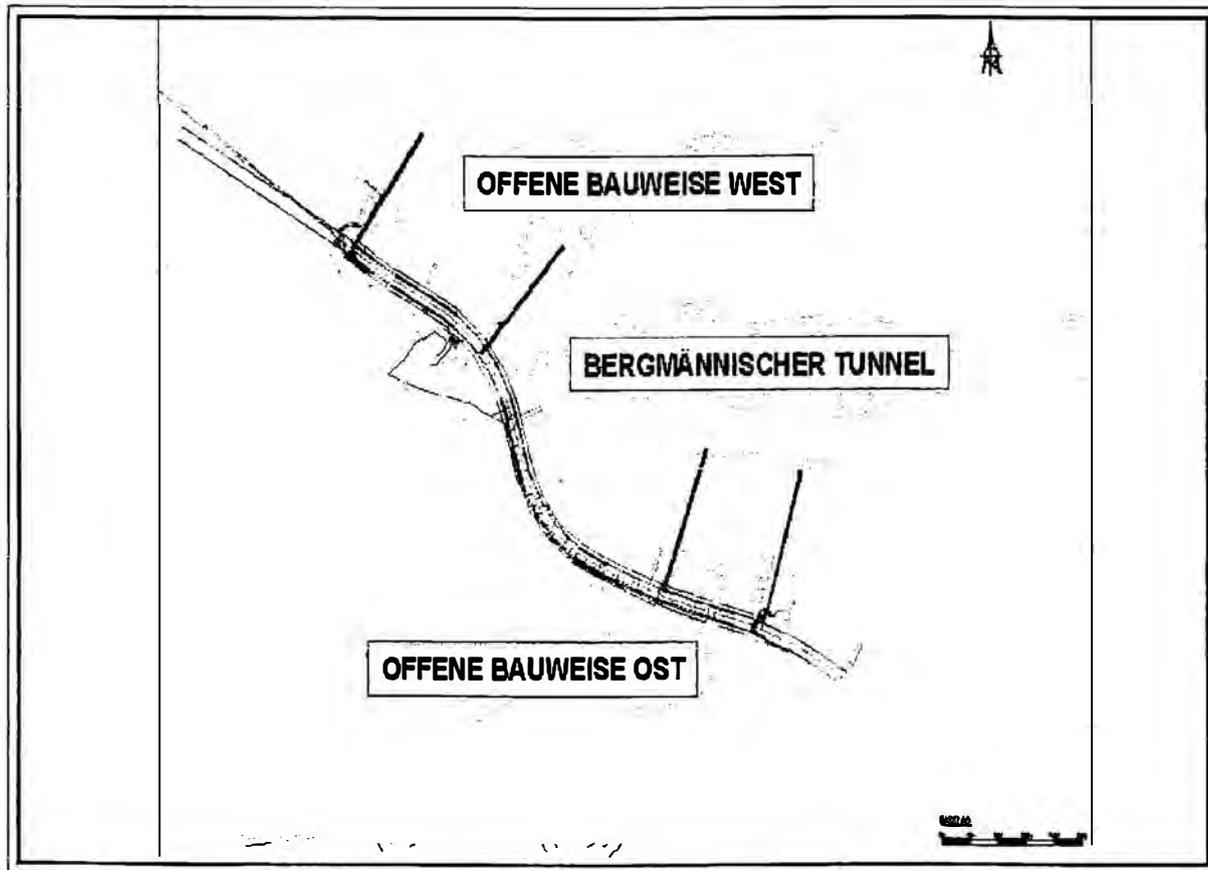


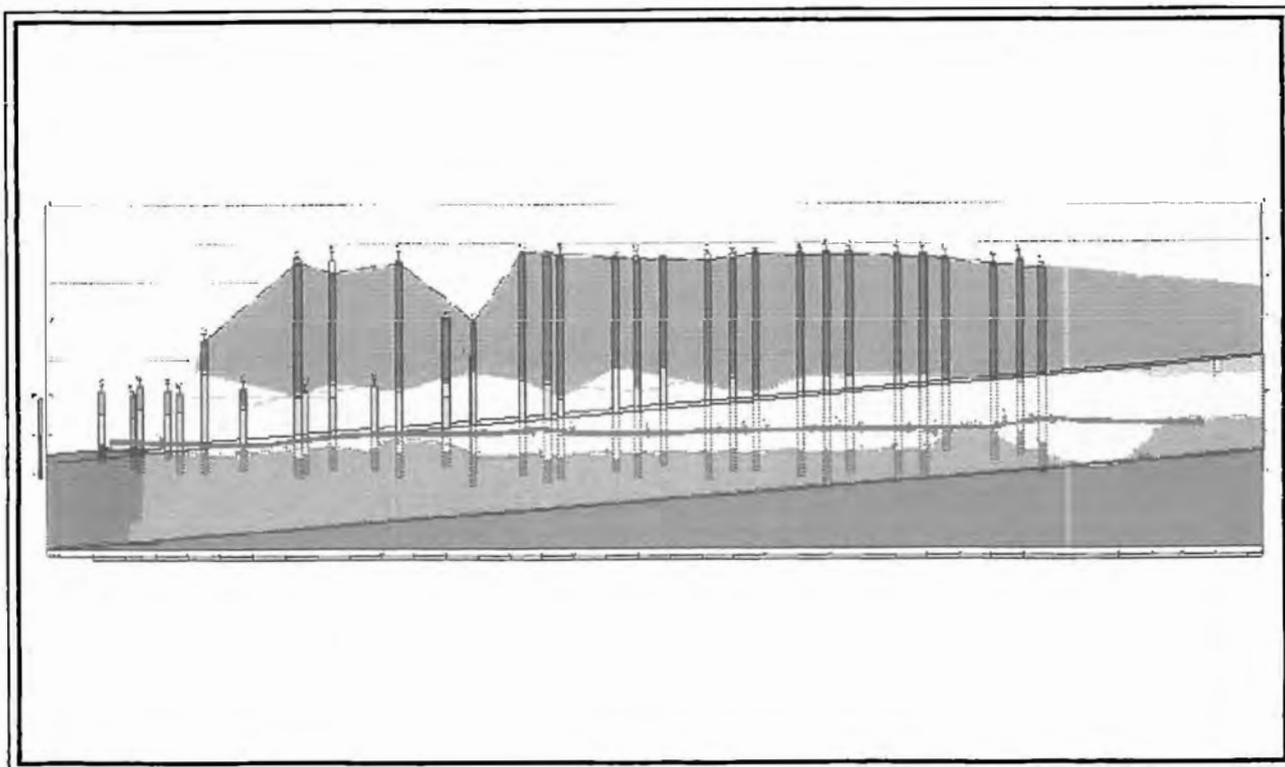
Abb.1 Lageplan des Bauloses

## GEOLOGIE

Das Projektgebiet liegt südlich von Linz innerhalb der Molasse-Zone. Die geologisch ältesten Abfolgen, die im Tunnelvortrieb bzw. bei den Aushubarbeiten für die offenen Bauweisen angetroffen wurden, bilden die Schluff- und Tonsteine des Oligozänschliers (Abb. 2).

Teile des Oligozän- und des diesen überlagernden Miozänschliers wurden im Quartär erodiert, so dass heute die quartären Abfolgen, einem zum Teil intensiv strukturierten Paläorelief folgend, den Schlierabfolgen auflagern.

Die quartären Sedimente setzen sich aus pleistozänen Sanden und sandigen Kiesen der Würmterrassen des Trauntales und den sie überlagernden, meist über 10 m mächtigen Lösslehmen des Periglazials zusammen. Entlang der heutigen Traun lagern in der Niederflur postglaziale Kiese direkt auf den Sedimenten des Oligozäns.



Legende:

Tunnelband:

gelb: Quartäre Abfolge, braun: Oligozänschlier

----- Schlier-OK in Tunnelachse

Bohrungen:

gelb: Kies/Sandgemisch allgemein (nicht normgemäß), blau: Schlier (nicht normgemäß),

olivgrün: Schluff, sandig (normgemäß), rot: Hangfußablagerung

Abb.2 Stark vereinfachter geologischer Längenschnitt

Vor allem südlich der Westbahn wurden in den Kernbohrungen zwischen Oligozänschlier und pleistozänen Kiesen immer wieder bis zu ca. 0,5 m mächtige Abfolgen aus schluffig-sandigen Kiesen erbohrt. Diese Abfolgen wurden als Verwitterungshorizont des Oligozänschliers interpretiert (= "Schlierübergang").

Unterschiedlichste Anschüttungen mit zum Teil beträchtlicher Mächtigkeit wurden entlang der Westbahn sowie im Bereich der offenen Bauweise Ost aufgeschlossen.

## HYDROGEOLOGIE – PROGNOSE

Beim Bau des Mona-Lisa-Tunnels wurden drei Aquifere berührt. Es sind dies der an die holozänen Talfüllungen des Trauntales gebundene Traun-Begleitstrom, das vom Schiltenberg im Süden Richtung Trauntal nach Norden abfließende Grundwasser der pleistozänen Terrassenkörper sowie das Grundwasser in den Abfolgen des Oligozänschliers (Abb. 3).

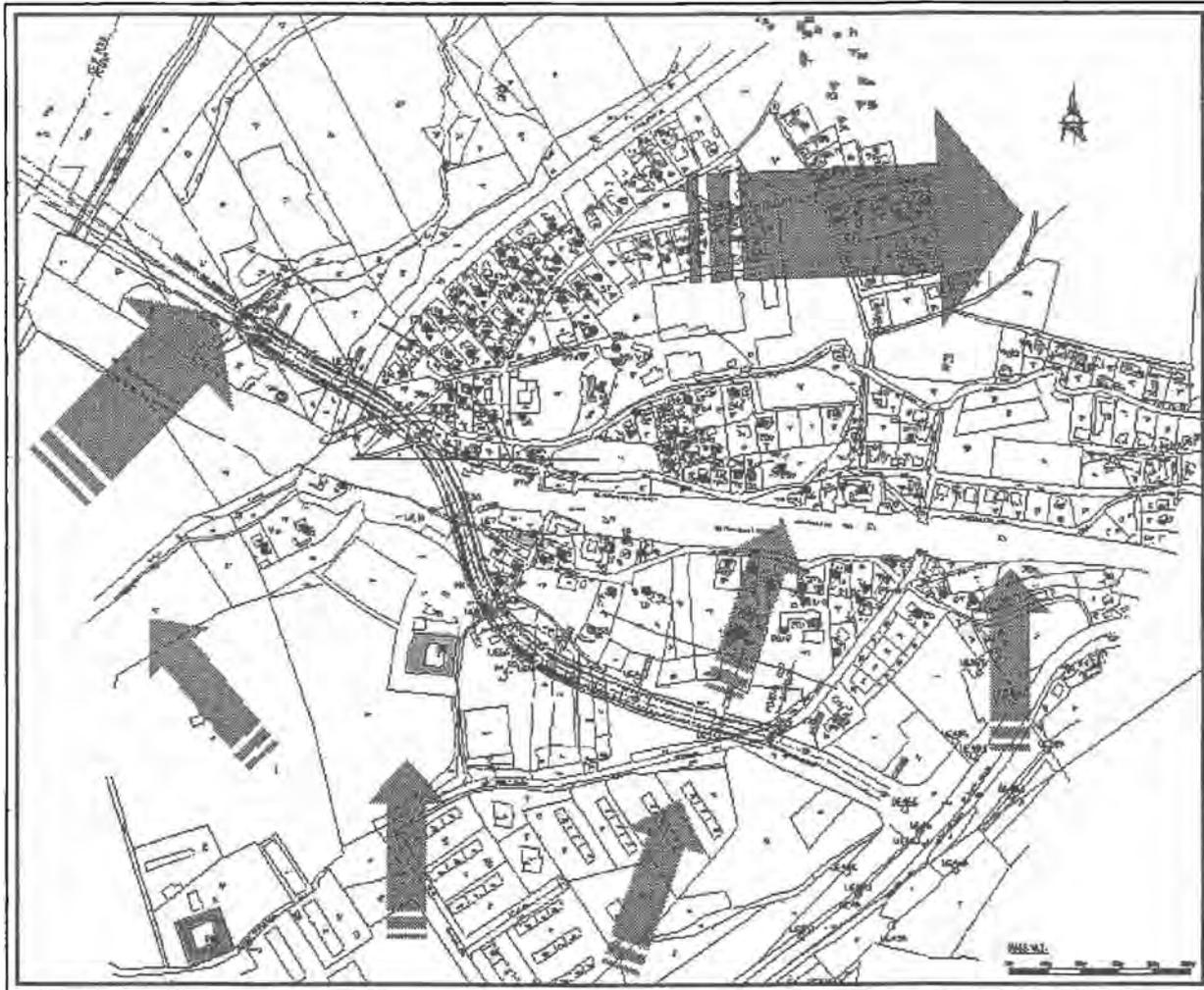


Abb.3 Vereinfachte Darstellung der Grundwasserströmungen im Projektgebiet

Während es sich bei den ersten beiden Grundwässern um Porengrundwässer handelt, dominieren im Oligozänschlier Eigenschaften eines Kluft-Grundwasserleiters. Aus den Daten der im Jahre 1996 gestarteten Beweissicherungsmessungen konnte für den Bereich südlich der Westbahn eine eindeutige Trennung zwischen dem Porengrundwasser in den pleistozänen Kiesen und dem Grundwasser im Oligozänschlier nachgewiesen werden. Nördlich der Westbahn war eine derartig klare Unterscheidung nicht möglich.

Für das vom Schiltensberg dem Traun-Begleitstrom zufließende Grundwasser konnte daher südlich der Eisenbahntrasse der Oligozänschlier als Grundwasserstauer angesehen werden. Des weiteren war davon auszugehen, dass durch das, mit pleistozänen Lockergesteinen überschüttete, intensiv durch etwa in Süd- Nord-Richtungen verlaufende Rücken gegliederte, Paläorelief der oligozänen Abfolgen das Grundwasser in den pleistozänen Kiesen in mehreren „Rinnen“ kanalisiert wird.

In Analogie zu den Verhältnissen südlich der Westbahn wurden der „Schlierübergang“ bzw. die obersten Abfolgen des Schliers auch in den nördlich der Westbahn gelegenen Teilen des Projektgebietes als „Dichtschicht“ zwischen dem Grundwasser im Oligozänschlier und dem Aquifer in den pleistozänen Lockergesteinen angesehen.

## WASSERHALTUNG – PLANUNG

Der Aushub für die offene Bauweise West kam zu einem großen Teil und der daran anschließende, steigend von West nach Ost vorgetriebene bergmännische Tunnel im Bereich der Unterfahrung der Westbahn mit dem vollen Ausbruchsquerschnitt in den Abfolgen des Oligozänschliers zu liegen.

In der Projektierung wurde davon ausgegangen, dass beim Aushub des Voreinschnittes für den bergmännischen Tunnel sowie die offene Bauweise West die Wasserhaltung in den holozänen Traunkiesen wegen der erforderlichen geringen Absenkungsbeträge durch eine offene Wasserhaltung zu bewerkstelligen sein wird. Im Kluftgrundwasserkörper des Oligozänschliers wurden nur relativ geringe Wasserzutritte erwartet, die ebenfalls mit einer offenen Wasserhaltung beherrschbar sein sollten.

Südlich der Westbahn tauchte der Ausbruch aus dem Oligozänschlier in die Wasser führenden Terrassenkiese auf und lag im Bereich des bergmännischen Ostportales zur Gänze in diesen bzw. teilweise bereits in den die Terrassenkiese überlagernden Lösslehmen. Für diesen Teil des Vortriebes wurde eine Grundwasserabsenkung mit insgesamt 24 Absenkbrunnen, die beidseitig des Ausbruches angeordnet wurden, geplant.

## GRUNDWASSERBEEINFLUSSUNG – PROGNOSE

Für das wasserrechtliche Bewilligungsverfahren mussten im Vorfeld sowohl die Auswirkungen des fertig gestellten Bauwerkes als auch die während der Bauarbeiten zu erwartenden Beeinflussungen auf den Grundwasserhaushalt dargestellt werden.

Dazu wurde ein zweidimensionales numerisches Modell des Projektgebietes auf Grundlage der zur Verfügung stehenden geologischen, hydrogeologischen und hydrografischen Daten erstellt. In diesem Modell wurde die Schlieroberkante als Grundwasserstauer definiert. Einen großen Unsicherheitsfaktor beim Aufbau des numerischen Modells stellten die geringen Kenntnisse über den Untergrundaufbau im weiteren Umfeld der Tunneltrasse dar, da fast alle Aufschlussbohrungen in unmittelbarer Nähe des geplanten Bauwerkes situiert worden waren.

Um die aus den, aus der Beweissicherung bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden, Grundwasserganglinien bei Hoch- und Niederwasserständen annähernd nachbilden zu können, war es im Modell zudem erforderlich, die gewählten Durchlässigkeitsbeiwerte relativ kleinräumig zu zonieren. Generell wurden vier Großzonen unterschieden:

- Grundwasserkörper des Traun–Begleitstromes ( $10^{-2}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-3}$  m/sec)
- Grundwasser des Schiltenerberges ( $10^{-3}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-4}$  m/sec)
- Hangfuß ( $10^{-4}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-6}$  m/sec)
- „Kiesrinne“ südlich der Westbahn ( $10^{-3}$  m/sec  $\leq k_f \leq 10^{-4}$  m/sec)

Bereits bei der Eichung des unbeeinflussten Modells, also ohne Berücksichtigung des geplanten Bauwerkes, stellte sich heraus, dass das numerische Modell insgesamt sehr empfindlich auf geringe Änderungen maßgeblicher Parameter

reagierte. Die Implementierung des Bauwerkes als undurchlässigen Körper in das numerische Modell zeigte, dass ohne zusätzliche Maßnahmen umfangreiche Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten wären.

Bei Einführung von zwei Dükern im Bereich der Offenen Bauweise West und sechs Dükern im Abschnitt des bergmännischen Tunnels in das Modell, reduzierten sich die zu erwartenden Auswirkungen beträchtlich. Die Düker wurden im Modell durch punktuelle, oberstromig der Trasse gelegene Wasserentnahmen und punktuelle Wiederversickerungen unterstromig des Bauwerkes dargestellt. Gegenüber der ohne Einsatz von Dükern berechneten Simulation konnten im Modell mit simulierten Dükern nur einige wenige, nahe an der Trasse gelegene Brunnen nicht mit Grundwasser versorgt werden.

### **INTERPRETATION DER NUMERISCHEN SIMULATION**

Bei der numerischen Simulation wurde eine starke Sensibilität des Modells gegenüber Variationen der Parameter festgestellt. Dies bedeutet, dass unter Umständen bereits geringe Abweichungen des tatsächlichen Untergrundaufbaues von dem des Modells beträchtliche Auswirkungen auf die Wirksamkeit der im Modell ermittelten Maßnahmen zur Reduktion der Grundwasserbeeinflussungen haben können und diese Maßnahmen im ungünstigsten Fall wirkungslos sind. Es war daher unbedingt notwendig, vor endgültiger Festlegung der Maßnahmen die zur Verfügung stehenden Parameter bzw. Kenntnisse über den Untergrundaufbau zu verdichten.

Erfahrungsgemäß fallen bei der Bauabwicklung derartiger Projekte eine Vielzahl von hydrogeologischen, geologischen und hydrologischen Daten an, weshalb aus terminlichen und wirtschaftlichen Gründen auf zusätzliche Erkundungsmaßnahmen vor Baubeginn verzichtet wurde. Während der Bauarbeiten sollte durch ein umfangreiches und detailliertes Monitoring eine ausreichend genaue Grundlage für die endgültige Bemessung und Austeilung der notwendigen Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers geschaffen werden.

Die während der Baumaßnahme bewirkten Beeinflussungen des Grundwassers waren durch wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen nicht reduzierbar. Da zahlreiche Liegenschaften vor Baubeginn ausschließlich über Hausbrunnen mit Trinkwasser versorgt wurden und diese mit großer Sicherheit trocken fallen würden, musste für diese Objekte eine ausreichende Ersatzwasserversorgung während der Dauer der Grundwasserabsenkung sicher gestellt werden.

### **BAUBEGLEITENDE DOKUMENTATION**

Während der Bauarbeiten zur Auffahrung des Mona-Lisa-Tunnels wurden im unmittelbaren Einflussbereich der Baustelle täglich die Grundwasserstände in bis zu 50 Messstellen gemessen. Das gesamte Messstellennetz umfasste über 180 Messstellen, an denen die Grundwasserstände zumindest in monatlichen Intervallen gemessen und dokumentiert wurden. Bis zum Ende der Bauarbeiten wurden so insgesamt mehr als 30.000 Messwerte erfasst.

Zusätzlich wurden die Grundwasser-Entnahmemengen an den jeweils betriebenen Absenkbrunnen, an den Absetzbecken sowie den einzelnen Pumpensämpfen im Voreinschnitt West bzw. im Tunnel selbst aufgezeichnet.

Die im Vortrieb aufgefahrenen Gesteine wurden neben rein tunnelbautechnischen Aspekten auch im Hinblick auf die zu beantwortenden hydrogeologischen Fragestellungen dokumentiert und aus diesem Grunde die einzelnen Gesteine auch hinsichtlich ihres Durchlässigkeitsbeiwertes visuell beurteilt.

Alle aus den baubegleitenden hydrogeologischen Beweissicherungsmessungen sowie aus dem Vortrieb gewonnenen Erkenntnisse flossen unmittelbar in ein aktualisiertes hydrogeologisches Modell ein. Dieses Modell wurde kontinuierlich mit weiteren, beim Bau erhobenen Daten überprüft bzw. ergänzt und der Bauablauf darauf abgestimmt.

## **GRUNDWASSERABSENKANLAGE**

Die Absenkung des Grundwasserspiegels im Bereich der offenen Bauweise West, zu der auch der Voreinschnitt West gehörte, erfolgte projektgemäß durch eine offene Wasserhaltung, im Bereich des bergmännischen Vortriebes durch insgesamt 24 Absenkbrunnen, DN 250 mm.

Die Filterstrecken der Absenkbrunnen reichten zumindest bis ca. 0,5 m unter die Schlier-Übergangsschicht bzw. die Schlieroberfläche, wodurch eine möglichst tiefe Absenkung des Grundwassers in dem teilweise weniger als einen Meter mächtigen Aquifer an die Staueroberkante heran erreicht werden sollte. An allen Absenkbrunnen wurden Abnahmepumpversuche durchgeführt, die in den Brunnenbohrungen durchfahrenen Schichten wurden laufend dokumentiert.

Bereits bei der Herstellung der Brunnen und der Auswertung der Abnahmepumpversuche konnten wesentliche Punkte der aus dem numerischen Modell abgeleiteten hydrogeologischen Prognose bestätigt werden.

Der Grundwasserkörper des Schiltenerberges war insgesamt nur relativ gering ergiebig und zudem durch mehrere Schlierrücken, die durch den nunmehr relativ dichten Raster an Aufschlüssen genauer zu beschreiben waren, in drei Teilströme untergliedert. Ebenso konnten die im Modell angenommenen Durchlässigkeitsbeiwerte größtenteils verifiziert werden.

## **BAUGESCHICHTE**

Relativ bald, bereits beim Aushub des Voreinschnittes West bzw. dem Vortrieb des Tunnels unter der Westbahn, wurde festgestellt, dass die Beeinflussungen des Traun-Begleitstromes deutlich über die in der numerischen Simulation berechneten Bereiche hinausreichten, obwohl die tatsächlichen Pumpmengen in etwa mit denen der numerischen Simulationsrechnung übereinstimmten.

Ursache dafür war, dass das Kluftgrundwasser im Oligozänschlier mit dem Porengrundwasser des Traun-Begleitstromes kommunizierte. Damit wurde eine beträchtlich größere Gesamtabenkung des Grundwasserspiegels, als projektgemäß erwartet, erforderlich.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurde das vom Grundwassermonitoring erfasste Areal nach Nordosten erweitert. Beeinflussungen der zusätzlich im Messprogramm erfassten Brunnen konnten allerdings auch bei Erreichen der maximalen Absenkung nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Auch das Vortriebskonzept des Tunnels wurde wegen der festgestellten Kommunikation zwischen den beiden in der Planung als getrennt angesehenen Grundwasserkörpern aus hydrogeologischen Überlegungen geändert. Ursprünglich war der Ausbruch der Tunnelröhre mit kurz vorseilender Kalotte und raschem Sohlschluss geplant. Dies hätte allerdings bedeutet, dass durch den Vortrieb über eine relativ lange Strecke gleichzeitig sowohl der Aquifer in den pleistozänen Terrassenkiesen als auch der im Oligozänschlier durch den Vortrieb beeinflusst würden. Dies hätte die Interpretation der erhobenen hydrologischen Daten deutlich erschwert.

Aus diesem Grunde wurde nach Unterquerung der Westbahn der verbleibende, etwa 320 m lange bergmännische Tunnel als Kalottentunnel mit temporärer Sohle aufgeföhren. Dadurch war es möglich, die Beeinflussungen der beiden unterschiedlichen Grundwasserkörper zeitlich und räumlich zu minimieren bzw. abzugrenzen und hydrogeologisch eindeutig verwertbare Daten als Grundlage für die Situierung von Dükern in den Terrassenkiesen zu erhalten.

Beim Aufföhren der Kalotte konnte durch die Absenkanlage der Aquifer über die gesamte Tunnelstrecke weitgehend entwässert werden. Der an der Staueroberkante aufgetretene Restwasserzutritt war gering und im Vortrieb ohne weiteres beherrschbar.

Die über den gesamten Tunnel abzuleitenden Wassermengen entsprachen insgesamt der in der numerischen Simulation ermittelten Größenordnung. Es zeigte sich aber, dass die Wasserföhierung sehr stark an einzelne, sehr gut durchlässige und meist relativ gering mächtige, kiesig-steinige Horizonte mit geringem bis fehlendem Sandgehalt gebunden war. Diese Kiese traten häufig im Sohlbereich der Rinnen in der Schlieroberfläche auf, konnten aber auch deutlich darüber liegen und waren daher hinsichtlich ihrer tatsächlichen Lage und Position aus den Ergebnissen der Kernbohrungen nicht abzuleiten.

## **AUSGEFÖHRTE MASSNAHMEN**

Wegen der beim Vortrieb festgestellten Änderungen der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse waren im Detail Änderungen sowohl hinsichtlich der Situierung als auch der Art der Maßnahmen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasserverhältnisse notwendig.

Die bereits in der Projektierung vorgesehenen Kieskörper unterhalb der Bodenplatte der offenen Bauweise West gelangten plangemäß zur Ausführung. Umfangreiche Anpassungen der geplanten Dükersysteme waren allerdings für den Bereich des bergmännischen Tunnels erforderlich. Dabei waren allerdings zahlreiche Randbedingungen zu berücksichtigen.

Aus baubetrieblichen und statischen Gründen musste die Grundwasserabsenkung über die Sohl drainage des Ausbruches bis nach Fertigstellung der Ortbetoninnenschale des Tunnels in Betrieb bleiben. Die Funktionstüchtigkeit der Düker und ihre Wirksamkeit konnte somit erst nach Deaktivierung und Verpressung der

Sohldrainage überprüft werden. Bei der Festlegung der Dükerstandorte und der Dükersysteme war daher eine hohe-Prognosesicherheit gefordert.

Da der Tunnel steigend den relativ gering mächtigen Aquifer in den pleistozänen Terrassenkiesen quert und der Ausbruch der Kalotte zu diesem Zeitpunkt bereits fertig gestellt war, kamen drei unterschiedliche Bauweisen für die Herstellung der Düker zur Ausführung:

In dem Tunnelabschnitt, in dem ausschließlich die Kalotte den Aquifer sperrt, kamen zwei Düker mit Horizontalfilterbrunnen, die von der bereits aufgefahrenen Kalotte aus hergestellt wurden, zur Ausführung.

Die Düker bestehen oberstromig aus einem 15 m langen Horizontalfilterbrunnen, welcher leicht steigend, der im jeweiligen Bereich dokumentierten gut durchlässigen Schicht folgend, hergestellt wurde. Unterstromig wurden zwei 8 m lange Horizontalfilterbrunnen leicht fallend innerhalb des selben Kieshorizontes ausgeführt. Durch diese Bauart der Düker sollte einerseits eine möglichst flächige Dotation des unterstromigen Aquifers und andererseits eine Verbesserung der Versickerungsleistung des Dükersystems erreicht werden.

In dem Tunnelabschnitt, in dem die Schlieroberkante bzw. die hochdurchlässigen Horizonte im Bereich bzw. knapp unterhalb des Kalottenfußes liegen, wurden so genannte Längsdüker parallel mit dem Auffahren der Strosse eingebaut. Bei diesen Längsdükern handelt es sich um bis zu 15 m lange Kiespackungen entlang der Ausbruchsleibung, in die Filterrohre (DN 150 mm) eingelegt wurden. Die oberstromig, also entlang des Südulmes, hergestellten Längsdüker wurden mit Gefälle zur Dükerleitung hin, die unterstromigen mit Gefälle von der Dükerleitung weg, angeordnet.

Sowohl Längsdüker als auch Horizontalfilterbrunnen wurden so konzipiert, dass sie auch im Betrieb voll wartbar bleiben. Bei beiden bisher beschriebenen Systemen wurden die oberstromigen Entnahmeeinrichtungen und die unterstromigen Wiederversickerungen unter der Tunnelsohle hindurch mit Dükerleitungen (DN 150 mm) verbunden, welche ebenfalls wartbar (spülbar) ausgeführt wurden.

Das dritte eingesetzte Dükersystem besteht aus drei, etwa 1 m mächtigen und jeweils ca. 3 m breiten Kieskörpern unterhalb der Tunnelsohle. Dieses System wurde gewählt, weil hier die Tertiäroberkante bereits so tief liegt, dass die erforderlichen Wartungsöffnungen unterhalb der Fahrbahnoberkante zu liegen gekommen wären. Aus diesem Grunde erschien es sinnvoll, ein wartungsfreies aber ausreichend leistungsfähiges System einzusetzen. Auch wurde die Lage der einzelnen Kiesdüker auf die im Vortrieb angetroffenen geologischen Verhältnisse angepasst.

## **EFFEKTIVITÄT DER DÜKER**

Nach Verpressen der Sohldrainage stieg der Grundwasserspiegel oberstromig der Tunnelröhre rasch an. Der Wirkungsgrad der Düker konnte bald darauf am Wiederanstieg des Grundwassers in den unterstromig der Trasse gelegenen Absenkbrunnen bzw. in den bis dahin trocken gefallen Hausbrunnen festgestellt werden.

Aus den vorliegenden Daten kann abgeleitet werden, dass der oberstromige Aufstau des Grundwassers nur wenige Zentimeter bis maximal zwei Dezimeter gegenüber

vergleichbaren Grundwasserständen vor Baubeginn beträgt und somit das anströmende Grundwasser wirksam über die eingebauten Dükersysteme abgeleitet wird.

Aus den beidseitig der Tunnelröhre gelegenen Absenkbrunnen sind ohne Berücksichtigung des natürlichen Gefälles des Grundwasserspiegel Differenzen der Spiegellage des Grundwassers zwischen 20 cm und 40 cm abzuleiten (Abb. 4), wobei im Detail geringe Unterschiede zwischen den Tunnelabschnitten mit Horizontalfilterbrunnen, Längsdüchern und Kiesdüchern zu bestehen scheinen. Erwartungsgemäß traten die größten Unterschiede in den Abschnitten mit generell niedrigen Durchflussraten im Bereich der Kiesdücker auf.

Nach Abschluss der über zwei Jahre nach Bauende fortgesetzten Beweissicherungsmessungen konnte festgestellt werden, dass großflächig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse sowohl hinsichtlich Ergiebigkeit des Aquifers als auch Grundwasserdynamik wieder hergestellt werden konnten.

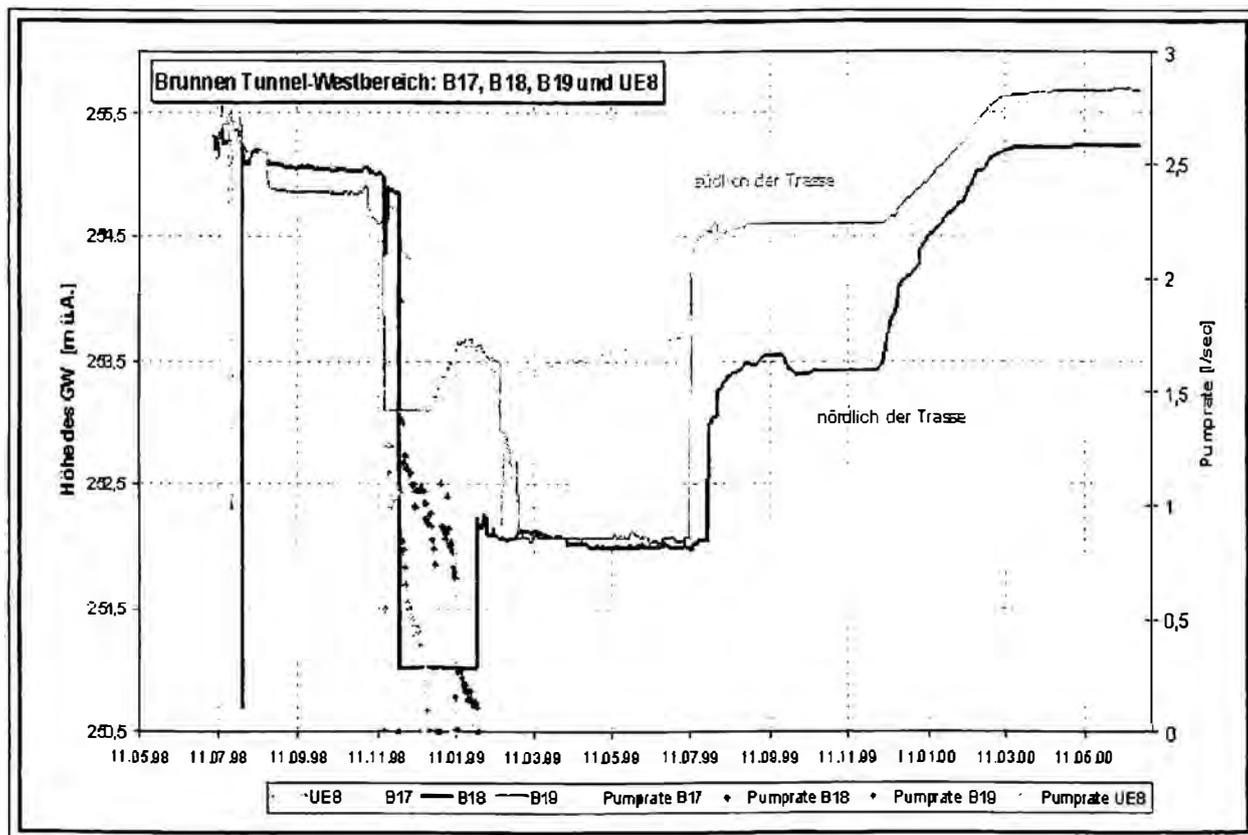


Abb.4 Ganglinien an Absenkbrunnen ober- und unterstromig der Trasse vor, während und nach Ausbruch des Tunnels.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Bei Bauwerken, die in Grundwasserkörper eintauchen, ist auf Grund der rechtlichen Bedingungen und des gesteigerten Interesses der Öffentlichkeit an Belangen des Umweltschutzes größtes Augenmerk auf mögliche Beeinflussungen des Grundwasserhaushaltes zu legen. Die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Reduktion bauwerksbedingter Beeinflussungen des Grundwassers muss daher frühzeitig geprüft und bereits bei der Planung der Untergrunderkundung berücksichtigt werden.

Dies bedeutet, dass die projektbezogene Baugrunderkundung auch Bereiche abdecken muss, die unter Umständen auch relativ weit außerhalb der geplanten Trasse liegen können. Das tatsächlich zu bearbeitende Areal wird dabei primär durch die hydrogeologischen Rahmenbedingungen definiert.

Das aus der Untergrunderkundung abgeleitete hydrogeologische Modell sollte jedenfalls durch numerische Simulationen überprüft werden. Bei diesen Untersuchungen müssen vor allem Prognoseunsicherheiten herausgearbeitet und diese hinsichtlich ihrer baupraktischen und damit wirtschaftlichen Konsequenzen bewertet werden. Gegebenenfalls sind zusätzliche Erkundungsmaßnahmen auszuführen.

Die in der Planung verwendeten Modelle müssen während der Projektrealisierung – vor allem in komplexen, heterogenen Grundwasserkörpern – laufend überprüft werden. Festgestellte Unterschiede zwischen Modell und Realität sind rechtzeitig auf ihre Auswirkungen auf die gewählten Verfahren zu überprüfen und daraus gegebenenfalls Konsequenzen für das Projekt zu ziehen. Dazu ist es notwendig, sämtliche Planungsschritte und Entscheidungsgrundlagen bis zur Fertigstellung des Projektes nachvollziehbar zu dokumentieren.