

Tunnel Rannersdorf - von der Geotechnik zu optimierten Bauweisen

Dipl.-Ing. B. Schreitl – ste.p

Dipl.-Ing. I. Gartner – ste.p

Stella & Stengel und Partner – ZT GmbH, Wien

1. EINLEITUNG

Der ca. 16 km lange südliche Abschnitt der S1 verbindet den bestehenden Autobahnknoten Vösendorf (A2-Südautobahn und A21-Wiener Außenringautobahn) mit der Anschlussstelle Schwechat (A4-Ostautobahn).

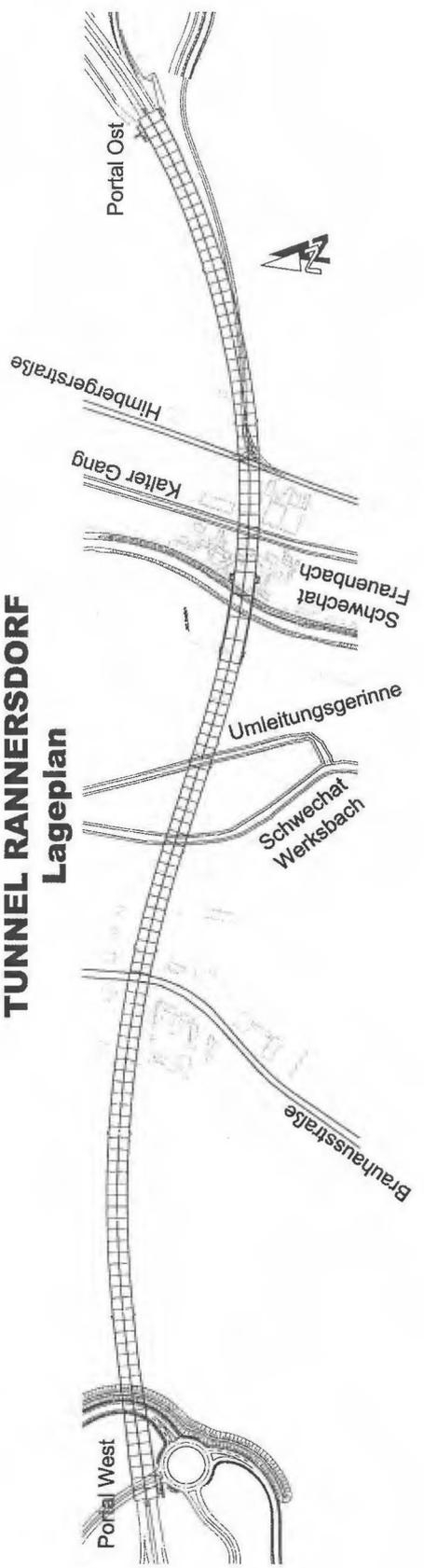
Der Tunnel Rannersdorf bildet mit einer Länge von 1,88 km das Herzstück der S1. Höchste Anforderungen an die weitestgehende Erhaltung der geohydrologischen Situation während der Errichtung und im Endzustand erforderten die Entwicklung einer innovativen Baumethode für den Tunnel in offener Bauweise.

2. GEOLOGIE

Sowohl der westliche als auch der östliche Tunnelabschnitt liegen im Bereich der Hochterrasse (Riß-Eiszeit), während der zentrale Teil des Tunnels die Niederterrasse (Würm-Eiszeit) durchfährt. Die Decke bilden im Westen und Osten mächtige Löss- und Lösslehmlagen, dazwischen prägt die Austufe der Schwechat die oberflächennahen Schichten. Die stark durchlässigen, mitteldicht bis dicht gelagerten quartären Kiese weisen Mächtigkeiten von zumindest 10 m auf, stellenweise kommen sie bis in Tiefen von rund 25 m vor.

In den Bereichen mit der Lössbedeckung westlich der Brauhausstraße und östlich der Humberger Straße treten die Kiese der Hochterrasse auf, die Karbonate und Kristallin führend sind. Der Zusammensetzung entsprechend sind es Kiese der Donau, die damals offensichtlich bis hierher geschüttet hat. Die Kiese zeigen eine fortgeschrittene Verwitterung und sind in korrodierte Karbonate und kaolinisierte Kristallingerollen dokumentiert.

TUNNEL RANNERSDORF Lageplan



Geotechnischer Längenschnitt

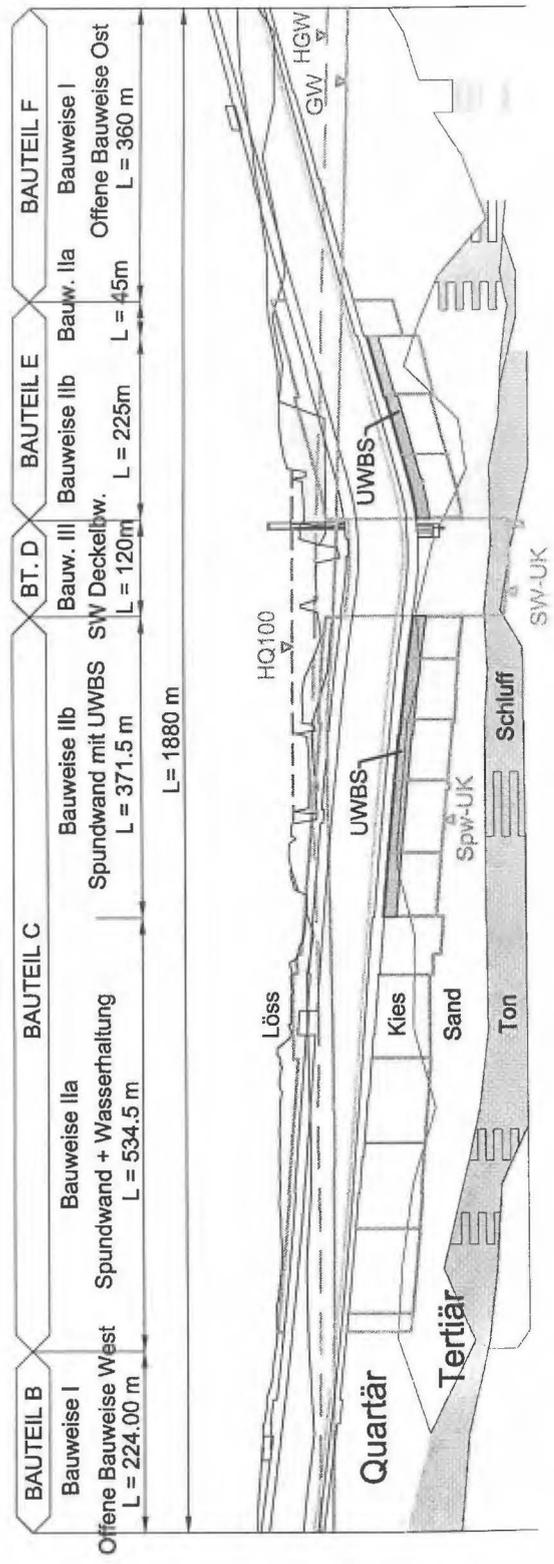


Abb. 1: Tunnel Rannersdorf – Lageplan und Geotechnischer Längenschnitt

Im Bereich der Schwechat ist ein ca. 5 – 6 m mächtiger Kieskörper der Niederterrasse zuzuordnen. Es sind dies fast ausschließlich mittelkörnige, sandige Kiese, die erfahrungsgemäß locker gelagert sind und damit im Gegensatz zu den älteren Kiesen des Projektgebietes stehen. Sie bestehen zu über 90% aus Karbonate und Flyschsandsteinen aus dem Einzugsgebiet der Schwechat westlich des Wiener Beckens.

Das Unterliegende wird durch Sedimente des Tertiärs gebildet, wobei durchlässige Sandschichten (obere Tertiärsande) mit bis zu 10 – 12 m Mächtigkeit unterhalb der quartären Schichten anstehen. Verhärtungszonen (Konkretionen) wurden bereichsweise an der Schichtgrenze zwischen Quartär und Tertiär angetroffen. Eine schluffige bzw. tonige Schicht (Grundwasserstauer) mit einer Stärke von rund 2 – 8 m trennt die oberen Sande von den unteren Tertiärsanden.

Der erste Grundwasserhorizont befindet sich im Kieskörper des Quartärs bzw. in der oberen Tertiärsandschicht und liegt im Bereich der Schwechat aufgrund der Topographie nahe der Geländeoberfläche. Der zum mächtigen Grundwasserreservoir des Wiener Beckens gehörende Grundwasserkörper strömt von Süden nach Norden, womit die Anströmrichtung praktisch normal auf das Tunnelbauwerk erfolgt. Weder während der Bauzeit noch nach Fertigstellung durfte dieser Grundwasserstrom unterbrochen bzw. eingeschränkt werden, womit aus wasserrechtlicher Sicht den Planungen strenge Auflagen zur Aufrechterhaltung der geohydrologischen Verhältnisse zugrunde gelegt worden waren. Weiters trat gespanntes Grundwasser in den unteren Tertiärsanden auf.

3. GEOTECHNIK

Für die geotechnische Beurteilung wurden insgesamt 32 Bohrungen in Abständen von 60 bis 150 m und einer Aufschlusstiefe bis ca. 45 m abgeteuft. Ergänzend wurden 23 Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde durchgeführt.

Im östlichen Bereich stehen Lössse mit einer Mächtigkeit von 5,0 m bis etwa 7,0 m an, welche bis zur Brauhausstraße auf 1 m bis 2 m Restdicke abnehmen. Es wurden relativ geringe Rammwiderstände mit n_{10} -Werte < 10 Schläge, häufig sehr geringe n_{10} -Werte < 5 Schläge ermittelt. Die darunter folgenden Quartärschotter ergaben durchwegs n_{10} -Werte über 100 Schläge. Die Tertiär-OK weist Höhenunterschiede bis zu 6 m auf.

Der mittlere Abschnitt ist geprägt durch die Talniederung des Schwechattales mit dem Schwechat-Werksbach, dem Umleitungsgerinne, dem Schwechat-Frauenbach als Hauptgerinne und dem Kalten Gang. Unter geringmächtigen Deckschichten folgen Quartärschotter mit Schichtdicken zwischen ca. 10 und ca. 18 m. Darunter stehen die Tertiärsedimente als Abfolge von „oberen Tertiärsanden“, Tonen und tonigen Schluffen als echte Stauerschicht sowie „unteren Tertiärsanden“ an.

Die Rammsondierungen ergeben ab ca. 3,50 Tiefe eine mitteldichte Lagerung der „Quartärschotter“, ab etwa 6 m steigt die Lagerungsdichte rasch auf dichte bis sehr dichte Lagerung (n_{10} -Werte >100 Schläge).

In den tertiären Schichten wurden in Tiefen, die der Lage einer angedachten tiefliegenden Variante eines bergmännisch aufzufahrenden Tunnel entsprach, Dilatometerversuche hinsichtlich Steifigkeits- bzw. Verformungsverhalten durchgeführt. Die stark vorbelasteten („überverdichteten“) Schlufftone sind sehr steif bis halbfest bzw. gering bis sehr gering verformbar.

Im westlichen Abschnitt wird die Deckschichte (Löss) wieder mächtiger. Die Quartärschotter erreichen in diesem Bereich durch eine tiefere Rinne in der Tertiäroberfläche ihre größte Mächtigkeit. Die Rammsondierungen zeigen ebenso mitteldichte bis dichte Lagerung der Quartärschotter.

Letztendlich lassen sich die für die Errichtung des Tunnelbauwerkes relevanten Bodenschichten geotechnisch mit ihren bodenmechanischen Rechenwerten wie folgt zusammenfassen:

Schicht	γ [KN/m ³]	γ' [KN/m ³]	φ [°]	c [KN/m ²]	Es [MN/m ²]
Löss- und Lösslehmdeckschichten	19,0	--	27,5	5,0	5-7
Quartärschotter	22,0	12,5	37,5	0	60-80
tertiäre Sande	19,0	10,0	30,0	0	10-20
tertiäre Schluffe und Tone	21,0	11,0	27,5	20	5-10

4. PROJEKTIERUNG

4.1 Tunnelbautechnische Studien

Wegen zahlreicher Grundwasserentnahmen im Schwechattal, aber auch wegen eines allfälligen Anstauens von Altlasten, war die Grundwassersituation bei allen Planungsüberlegungen genau zu berücksichtigen. Eine der wesentlichsten Rahmenbedingungen aus der Hydrogeologie war die möglichst geringe Beeinflussung des Grundwasserstromes sowohl während der Bauzeit als auch im Endzustand.

Im Generellen Projekt 1994 wurde für die Schwechattalquerung einerseits ein Tunnel in bergmännischer Bauweise (Hydroschild) mit einer tiefliegenden Nivellette, andererseits eine offene Bauweise mit einer möglichst seichten Gradienten untersucht, welche die Absiedlung von 22 Objekten notwendig machte.

Aufgrund dieser kontraversiellen Lösungsansätze wurde von der ÖSAG 1996 eine europaweite Interessentensuche für die Erstellung einer tunnelbautechnischen Studie für den Tunnel Rannersdorf ausgeschrieben. Von insgesamt 23 Interessenten wurden 8 Ingenieurbüros für ein Hearing ausgewählt. Mit der Ausarbeitung ihrer beim Hearing vorgestellten Projektideen wurden folgende Teams beauftragt:

- Ingenieurbüro Bösch & Gebauer, München
- ARGE Studie Tunnel Rannersdorf (Büros Strobl, Intergeo)
- Ingenieurbüro Stella & Stengel, Wien

Das Ergebnis der Studien zeigte eindeutig, dass bei den hydrogeologischen Rahmenbedingungen die offene Bauweise trotz Ablöse von 22 Objekten bei weitem wirtschaftlicher als ein Schildvortrieb oder eine kombinierte Lösung (offene Bauweise mit kurzen bergmännischen Abschnitten unter Bebauung) ist. Es wurde letztendlich vom Auftraggeber der innovative Ansatz einer geführten Senkkastenbauweise als kostengünstigste Variante zur Weiterbearbeitung ausgewählt.

4.2 Ausschreibungsentwurf

Der 1880 m lange Tunnel Rannersdorf gliederte sich in folgende Abschnitte:

- Offene Bauweise West, Länge ca. 230 m
- Senkkastenbauweise West, Länge ca. 900 m (60 Senkkästen)
- Schlitzwandbauweise unter dem Frauenbach auf einer Länge von ca. 120 m
- Senkkastenbauweise Ost, Länge in Südröhre ca. 270 m (18 Senkkästen)
- Offene Bauweise Ost, Länge ca. 360 m

Die Tunnelröhren in Senkkastenbauweise für die beiden Richtungsfahrbahnen werden getrennt hergestellt und verlaufen parallel in einem Abstand von ca. 5 m (Erdkern zwischen den beiden Röhren). Vorgefertigte Wandelemente werden bei dieser Bauweise paarweise, alternierend mit dem Aushubvorgang, abgesenkt. Die Wandelemente werden temporär durch Aussteifungsrohre auf Distanz gehalten und durch diagonale Zugbänder verspannt.

Ein Absenkwagen führt die Wandelemente eines Blockes (Regelabstand 15 m) beim Absenkvorgang. Dammbalken verschließen das abzusenkende Element an der Stirnseite und ermöglichen unterschiedliche Wasserspiegellagen innerhalb der bereits hergestellten Senkkastenstrecke.

In den Wandelementen wird für den wasserdichten Anschluss der Sohlplatte eine 20 cm tiefe und 70 cm hohe Aussparung hergestellt. Darunter sind die Schneiden für die Senkkästen ausgebildet, deren Spitzen aus Stahlblechen geformt sind. Es wird eine bewehrte Unterwasserbetonsohle, welche die Auftriebskräfte in die Wände weiterleitet, mit einer Stärke von 1,20 m bis 1,50 m ausgeführt.

In den tieferen Abschnitten erfordern die höheren Auftriebskräfte zusätzlich eine lotrechte Verankerung der Wandelemente mittels Litzenanker.

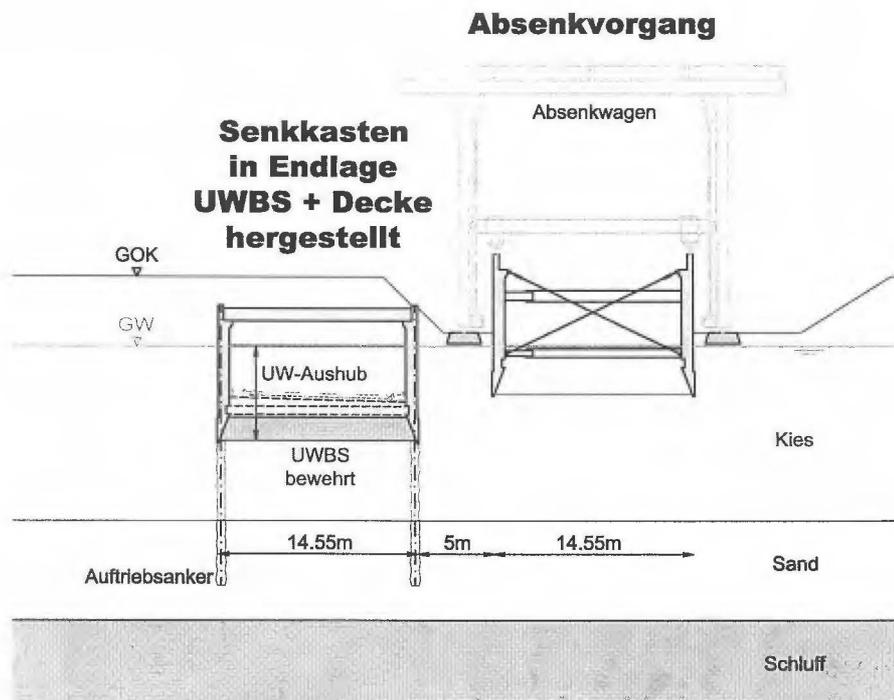


Abb. 2: Ausgeschriebene Senkkastenbauweise

Die Decke wird auf Schaleinheiten auf Lücke betoniert, um die Aussteifungsrohre nach dem Lenzen der Baugrube ausbauen und in den folgenden Abschnitten wieder einsetzen zu können.

Die wasserdichte Ausführung der Sohlplatte wird in ca. 15 m langen Abschnitten analog zu den Wandelementen ausgeführt. Die 60 cm starke Sohlplatte ist an den Wandelementen über 20 cm tiefe Aussparungen als Auflager gelenkig angeschlossen und wird über eine zugfeste Verbindung mit der Unterwasserbetonsohle zwecks Aktivierung gegen Auftrieb verbunden.

Die Querung des Hauptgerinnes der Schwechat (Frauenbach) und des zugehörigen Vorlandbereiches, der von Hochwasserschutzdämmen begleitet wird, erfolgt mit einem zweischaligen Tunnelbauwerk in Schlitzwandbauweise. Lage und Länge des Schlitzwandkastens ergibt sich vor allem aus der Breite des zu querenden Vorlandbereiches des Frauenbaches in 2 Bauphasen. Die Baugrubensicherung erfolgt mit Schlitzwänden, die in den Stauer einbinden. Der Tunnel kann daher im Schutze einer Grundwasserhaltung errichtet werden.

4.3 Semifunktionale Ausschreibung, Alternativenbote

Da es für die Senkkastenbauweise keine baupraktischen Erfahrungen gab und die Ausführung des Amtsprojektes daher ein beachtliches zusätzliches Risiko für den Auftraggeber darstellte, wurde die Ausschreibung wie folgt unterteilt:

- Für die Herstellung der Tunnel in offener, geböschter Baugrube (offene Bauweise West und Ost) sowie für die Schlitzwanddeckelbauweise wurde nach einem klassischen Einheitspreisvertrag mit Leistungspositionen ausgeschrieben.
- Die Senkkastenbauweise West und Ost wurde funktional ausgeschrieben.

Der ÖSAG-Entwurf war nicht zwingend anzubieten, es wurden Alternativentwürfe erwartet bzw. waren schlussendlich erwünscht.

Wesentliche Kriterien für die Gleichwertigkeit von Alternativentwürfen waren das Grundwasserausgleichssystem für Bau- und Endzustand sowie die Vorgaben aus der wasserrechtlichen Bewilligung des Amtsentwurfes. Besonders zu beachten im Zusammenhang mit der Hochwassersituation der 4 querenden Gerinne waren die stark wechselnden Grundwasserstände, welche zu Schwierigkeiten in der Bauabwicklung führen könnten.

Im Amtsprojekt wurde der Grundwasserstrom über einen wesentlichen Abschnitt der Tunnellänge nur über die geringstmögliche Höhe (rechteckiger

Tunnelquerschnitt zuzüglich ca. 2 m für die Unterwasserbetonsohle + Schneidenüberstand) eingeengt. Auch im Bauzustand ergaben sich keine weiteren Einschränkungen durch einen tiefer in den Untergrund reichenden Baugrubenverbau.

Damit der vor Beginn der Baumaßnahmen vorhandene Grundwasserstrom auch während der Durchführung der Bauarbeiten und nach Fertigstellung der Tunnelbauwerke weitgehend ungehindert aufrechterhalten werden konnte, war ein Grundwasserausgleichssystem für den Bau- und Endzustand vorgesehen. Unter der Voraussetzung, dass der Aufstau des Grundwassers im Zustrombereich und die Absenkung des Grundwasserspiegels im Abstrombereich des Tunnels gegenüber dem Urzustand minimiert werden sollte, wurde anhand von Modellberechnungen ermittelt, wie das Grundwasserausgleichssystem entlang der gesamten Tunnelstrecke für Bau- und Endzustand entsprechend zu dimensionieren war.

Die ARGE STRABAG – ZÜBLIN wurde mit dem Alternativentwurf Spundwandbauweise mit verankerter Unterwasserbetonsohle, ausgearbeitet vom Büro **ste.p** im Auftrag der ARGE, als technisch und wirtschaftliches Optimum beauftragt.

Abgesehen von den seichten Bereichen am Anfang und am Ende des Tunnels, in welchen das Bauwerk mit geböschten Baugruben hergestellt wurde, erfolgte die Errichtung des Tunnels größtenteils im Schutze von umschlossenen, mittels Totmann-Konstruktion zurückverankerten Spundwandträgern. Eine technisch-wirtschaftliche Optimierung der Baugrubensicherung ergab, dass die Spundwände nicht bis in die stauenden Schichten des Tertiärs reichen, sondern in den Bereich der durchlässigen tertiären Sande und lokal auch darüber in den quartären Kiesen einbinden. Um eine trockene Baugrube zu ermöglichen, war folglich eine begleitende Grundwasserhaltung mit innen liegenden Brunnen erforderlich. In den tiefen Tunnelabschnitten wurde anstelle der Grundwasserhaltung eine verankerte Unterwasserbetonsohle hergestellt, womit einerseits eine Abdichtung der Sohle erfolgte und andererseits die Spundwände eine Aussteifung im Sohlbereich erhielten, wodurch wiederum eine Optimierung der Spundwandlängen ermöglicht wurde.

Spundwand mit UWBS

fertig in Bau

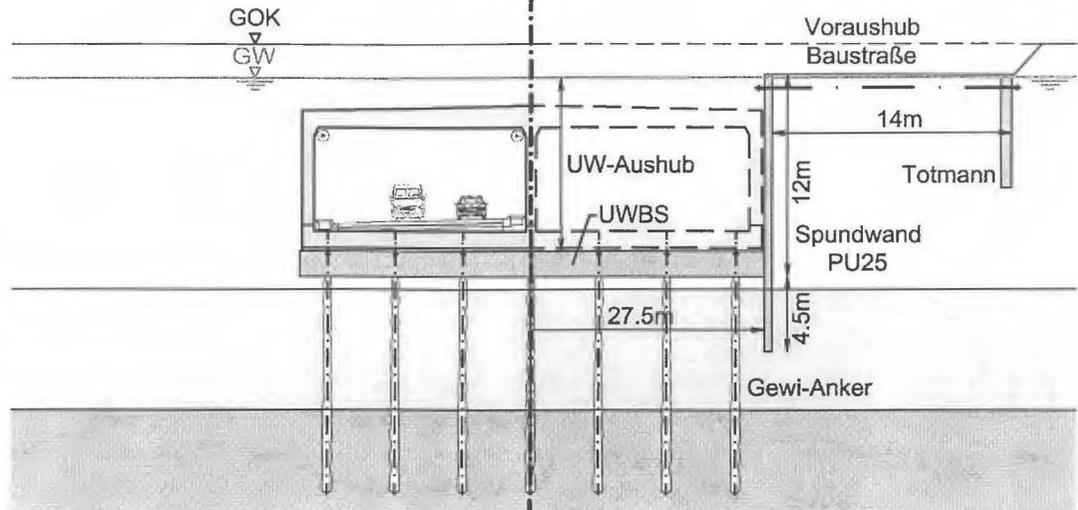


Abb. 3: Alternativentwurf Spundwandbauweise mit Unterwasserbetonsohle

Aufgrund der erforderlichen Umlegung des Schwechat-Frauenbaches sowie der Herstellung einer Gewässerschutzanlage am tiefsten Punkt des Tunnels wurde das Bauwerk an dieser Stelle vorlaufend in Schlitzwanddeckelbauweise errichtet. Nach Fertigstellung des Deckels wurde der umgelegte Frauenbach wiederum in die ursprüngliche Lage verlegt.

5. AUSFÜHRUNG

5.1 Herstellung der Spundwandtröge

Die Herstellung der Spundwände erfolgte mit 16,5 m langen Spundbohlen (Profil PU25), die mit einem speziellen Vibrationsbären (variable Frequenz- und Schwingweitereinstellung) mäklergeführt eingebracht wurden. Durch eine Vorbohrung mit einer Schnecke (Durchmesser 800 mm) bis in eine Tiefe von 14 m konnte der Boden vorab aufgelockert werden, um das Einbringen der Spundbohlen zu beschleunigen und Erschütterungen zu minimieren. Mögliche Verhärtungszonen an der Grenzfläche zwischen quartären Kiesen und den oberen Tertiärsanden wurden gleichzeitig durchstoßen. Die aus Stahlrohren bestehenden Totmänner wurden ebenfalls in den Boden eingerüttelt, jeweils

zwei Totmänner dienten zur Aufnahme der mittels Zugstange übertragenen oberen Auflagerkraft der Spundwand.

Im Zuge der Einbringung jeder einzelnen Spundbohle wurden von einem auf dem Rammgerät installierten Messwerterfassungssystem folgende Parameter automatisch und kontinuierlich in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet:

- Rammtiefe
- Rammgeschwindigkeit
- Hydraulischer Druck des Vibrationsbären
- Injektionsdruck bei zusätzlicher Niederdruckspülung
- Durchfluss bei zusätzlicher Niederdruckspülung
- Frequenz des Vibrationsbären
- Abweichung von der Vertikalen in x- und y-Richtung

Eine durchgehende Dokumentation der Spundbohleneinbringung bildete somit die Basis für das Qualitätssicherungssystem der Spundwandherstellung und lieferte wertvolle Hinweise in Bezug auf Bodeneigenschaften, Herstellungsläufe und die Vertikalität der Spundbohlen bereits unmittelbar nach dem Einbringen.

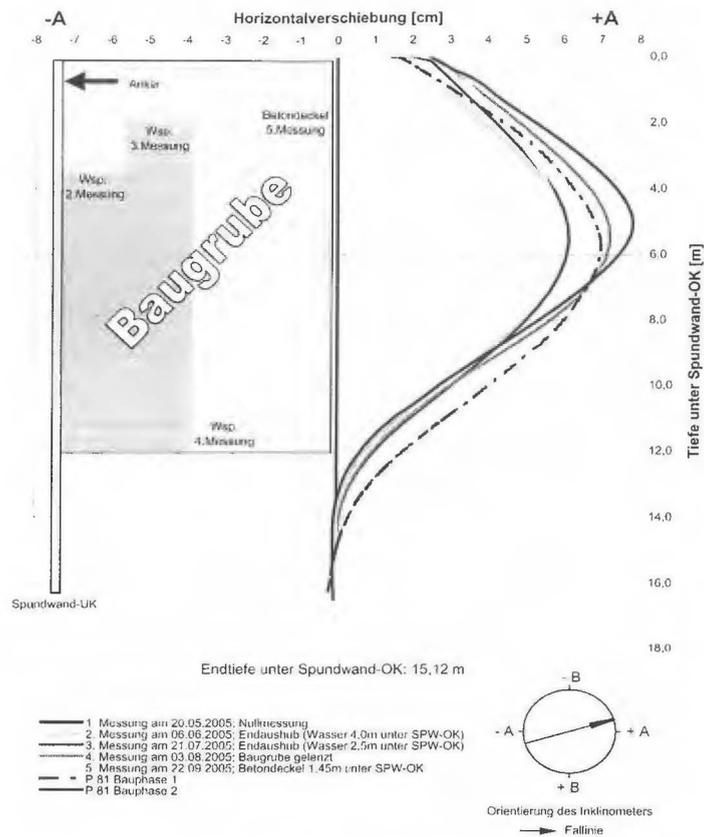
Ein umfangreiches geotechnisches Mess- und Dokumentationsprogramm umfasste folgende Maßnahmen:

- Automatische Messwerterfassung im Zuge der Spundbohleneinbringung
- Schwingungs- und Erschütterungsmessungen
- Dokumentation der Bodenparameter und der Grundwasserverhältnisse
- Inklinometermessungen
- Geodätische Messungen

Inklinometerrohre wurden in speziell vorbereiteten Spundbohlen versetzt; Messungen erfolgten nach dem Aufbringen des Totmann-Spanngliedes, nach dem Endaushub und nach Fertigstellung des Bauwerkes. Die rechnerisch ermittelten Spundwandverformungen sowie deren Verlauf konnten durch die Messungen bestätigt werden.

INKLINOMETERMESSUNG

S1-Tunnel Rannersdorf
Trog 11 - Südseite
Inklinometer bei Spundbohle 2141
Summenliniendarstellung
relative Lage zur Nullmessung



Univ.Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Adam - Ingenieurkonsulten für Bauingenieurwesen

TR-Trog11-Sust-step-b.xls / 12.06.2006

Abb. 4: Spundwandverformungen Rechnung - Messung

5.2 Grundwasserhaltung

Da in den Trögen ohne UWBS keine Sohlabdichtung vorgesehen war, musste der Grundwasserspiegel so weit abgesenkt werden, dass in einer trockenen Baugrube das Tunnelbauwerk errichtet werden konnte. Dazu wurden in Abhängigkeit der Aushub- bzw. der Absenktiefe zwischen 4 und 6 Pumpbrunnen je Trog im Regelfall bis in den Bereich der Spundwandunterkante hergestellt. Sämtliche Brunnen mit einem Bohrdurchmesser von 419 mm und einem Innendurchmesser (Filterrohr) von 200 mm wurden innerhalb eines Troges in den Tälern der südseitigen Spundwand angeordnet (Anströmrichtung). Zusätzlich wurden Beobachtungspegel an der nordseitigen Spundwand herge-

stellt. Das Pumpwasser wurde mit Hilfe eines Rohrleitungssystems gesammelt und in den die Tunneltrasse querenden Frauenbach mit der wasserrechtlich genehmigten Dotationsmenge eingeleitet bzw. in die eigens hergestellten Versickerungsgräben wieder dem Untergrund zugeführt. Wasserstandsmessungen an Pegeln außerhalb der Tröge dienten zur Überwachung der Einhaltung von wasserrechtlichen Auflagen.

Der Schichtaufbau des Bodens wurde anhand der Bohrprofile für die Brunnenbohrungen dokumentiert. Bodenphysikalische Untersuchungen von Proben aus den diversen Bohrungen dienten primär zur Ermittlung der Durchlässigkeit der quartären Kiesschichten und der Tertiärsandschichten, womit eine wirtschaftliche Auslegung der Brunnen erfolgen konnte.

5.3 Unterwasserbetonsohle

Nach dem Unterwasseraushub wurden die Spundwandsicken von Tauchern mit einem Hochdruckwasserstrahl gereinigt und der am Boden verbleibende Restschlamm mit einer Tauchpumpe abgesaugt. Anschließend erfolgte die Vermessung der Aushubsohlenhöhe durch Lotung und eine eventuelle Nachbesserung. Nach Freigabe des Planums wurden die GEWI-Pfähle von einem Ponton aus gebohrt. Während der Bohrarbeiten wurde von den Tauchern laufend überprüft, ob die Sohle schlammfrei war, um ein Absetzen der Zementsuspension auf dem Schlamm zu verhindern. Die Ankerkopfplatten wurden von den Tauchern händisch auf das GEWI-Pfahlgewinde geschraubt und höhenmäßig eingemessen.

Sobald die Arbeiten an den GEWI-Pfählen im Trog abgeschlossen waren, erfolgte nochmals ein Kontrolltauchgang. Bei ordnungsgemäßer Ausführung wurde mit der Betonage der UWBS begonnen. Dabei wurden in einer Tag - Nachtschicht ohne Unterbrechung ca. 3.500 m³ C16/20 betoniert. Die Betonage erfolgte über zwei Betonpumpen, die den Beton über ein auf einem Ponton befestigtem Schüttrohr einfüllten. Der Betoniervorgang erfolgte kontinuierlich von einer Seite beginnend. Nach dem Erreichen der erforderlichen Unterwasserbetonstärke wurde der Ponton im Trog weiter gezogen. Der über das Schüttrohr eingebrachte Beton breitete sich auf der Sohle walzenförmig aus, dabei schob er den inzwischen durch die Feinteile im Wasser neu am Boden gebildeten Restschlamm vor sich her. Dieser Schlamm wurde von den Tauchern während der UW-Betonage mit einer Pumpe abgesaugt, um das Risiko von Schlammeinschlüssen in der UWBS zu minimieren. Für die Aushärtung der UWBS waren ca. 4 Tage notwendig. Danach konnte mit dem Lenzen begonnen werden.



Abb. 5: Gelenzter Spundwandtrog mit verankerter Unterwasserbetonsohle

Im Zuge der Herstellung der UWBS wurden folgende Parameter laufend dokumentiert:

- Messprotokoll für die Aushubhöhen
- Protokoll für richtige Höhenlage der Ankerkopfplatten
- Messung des Wasserstandes während des Betoniervorganges
- Kontrolle der Betonqualität
- Herstellung von Probewürfeln für die Druckfestigkeitsuntersuchung

Ergänzend zur laufenden Überprüfung der Herstellungsparameter im Zuge der Einbringung der GEWI-Pfähle und der UWBS wurden die Hebungen der UWBS nach dem Lenzen der Tröge ermittelt.

Das Reinigen der Unterwasserbetonsohle vom restlichen Schlamm stellte die letzte Phase vor der Herstellung des Tunnelbauwerks dar. Bevor mit dem vollhydraulischen Stahlschalwagen die Wände und Decken nach der Richtlinie „Weiße Wannan“ in 15 m langen Betonierabschnitten in einem Guss betoniert werden konnten, wurden die Bodenplatten im Vorlauf hergestellt.