

Tunnel Untersammelsdorf – erweiterte Planungsstrategie für Stützmaßnahmen im „Seeton“

R. Heissenberger¹⁾, J. Benedikt²⁾, G. Mauerhofer³⁾

¹⁾ ÖBB - Infrastruktur AG

²⁾ ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH

³⁾ BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT GmbH

1 Einleitung

Das Ziel bei der Umsetzung von Projekten in der Geotechnik liegt, ungeachtet des zumeist „komplexen“ Umfeldes, in einer sicheren und wirtschaftlichen Realisierung. Sind nun die vorhandenen, erprobten Strategien und Erfahrungen zur Erreichung dieser übergeordneten Ziele nicht ausreichend, so ist der Ingenieur dazu angehalten, dem etymologischen Wortstamm *ingenium* folgend, mittels schöpferischem Geist und Scharfsinn die erprobten Strategien zu erweitern und neue Wege zu beschreiten.

Für den Tunnel Untersammelsdorf ergeben sich aus Trassierung, Geländemorphologie, Überlagerungshöhe, Querschnittsgröße und Baugrundverhältnissen eine Vielzahl an Einflussfaktoren und Wechselwirkungen. Das involvierte Ingenieurteam wurde somit laufend auf solch neue Wege geleitet.

2 Tunnel Untersammelsdorf

2.1 Projektumfeld

Im Zuge des Ausbaus der Baltisch – Adriatischen Achse sind entlang der Hochleistungsstrecke Graz – Klagenfurt „Koralmbahn“ eine Vielzahl an Ingenieurbauwerken zu errichten. Eines davon ist der dem Abschnitt Mittlern – Althofen (Kärnten) zuzuordnende und im Zuge des Bauloses 60.3 St.Kanzian herzustellende Tunnel Untersammelsdorf.

Der Regelquerschnitt wird 2-gleisig mit einem Gleisabstand von 4,70m ausgeführt. Die Querschnittsfläche Fahrtunnel ergibt sich damit zu ca. 77,9 m². Die zugehörige Ausbruchsfläche beträgt 132,7 m² bei einer Querschnittshöhe von 11,81 m.

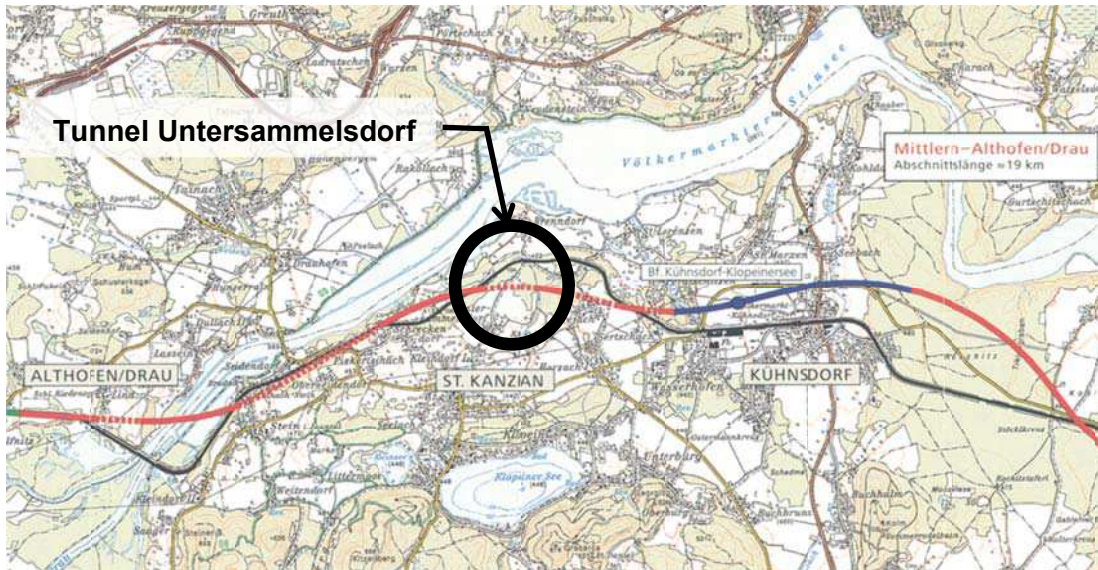


Abb. 1: Lageplan

Der Tunnel Untersammelsdorf mit einer Länge von 665m weist eine maximale Überlagerung von rund 33,5 m über SOK auf. Im Anschluss an die geschlossene Bauweise wird der Tunnel sowohl im Osten als auch im Westen auf einer Länge von jeweils 24m in Deckelbauweise hergestellt. Als Übergang zur Freilandstrecke wird im Osten eine 38m lange Wanne errichtet. Im Westen erfolgt der Übergang direkt vom Tunnel zu einer Stützwandkonstruktion der Freilandstrecke.

2.2 Baugrund

Die Tunneltrasse verläuft zur Gänze im östlichen Klagenfurter Becken. Dem paläozoischen Grundgebirge der Magdalensbergserie liegen im Bereich des Tunnels Untersammelsdorf weitgehend umgelagerte Grund- und Endmoränen auf. Diese sind wiederum überlagert von Wechselfolgen aus Schottern und in Gletscherseen abgelagerten, mächtigen Stillwassersedimenten („Seeton“). An der Oberfläche sind grobkörnige, postglaziale Schotterterrassen anzutreffen.

Der Untergrund im Tunnelquerschnitt sowie im Bereich der maßgebenden Tunnelüberlagerung wird zum überwiegenden Teil aus Stillwassersedimenten aufgebaut. Dabei handelt es sich um postglaziale Feinkornsedimente, die im Hinblick auf das geotechnische Verhalten in sand- und schluff-tondominierte Zonen unterteilt wurden.

Die sanddominierten Sedimente setzen sich im Wesentlichen aus schluffigen bis stark schluffigen Feinsanden zusammen. In einzelnen Aufschlüssen wurde auch ein nahezu fehlender Schluffanteil festgestellt. Die Lagerungsdichte kann mit dicht bzw. sehr dicht angegeben werden. Bei den schluff-tondominierten Feinkornsedimenten handelt es sich überwiegend um mittelplastische bis ausgeprägt plastische Schluffe bzw. Schluff-Tone („Seeton“) mit zumeist

geringem Feinsandanteil. Die Konsistenz dieser Böden variiert zwischen weich und weich bis steif. Oftmals liegen diese allerdings auch in breiiger bzw. breiig bis weicher Konsistenz vor. Die Stillwassersedimente treten in Wechselfolgen mit teilweise intensiven Verzahnungen auf. Z.T. sind innerhalb der Schluff-Tone dünne Feinsandlagen eingeschaltet.

Im Strossen- und Sohlbereich sowie unter der Tunnelsohle stehen abschnittsweise auch quartäre Kiese und Sande, Vorstoßschotter sowie Moränensedimente an. Diese kieskorndominierten Böden weisen durchwegs eine dichte bis sehr dichte Lagerung auf. Die Konsistenz der bindig wirkenden Zonen innerhalb der Moräne ist mit sehr steif bis halbfest zu beschreiben.

Die kristalline Basis bildet der Phyllit, der allerdings erst einige Meter unter Tunnelsohle einsetzt und somit für den Vortrieb keine bautechnische Relevanz erlangt.

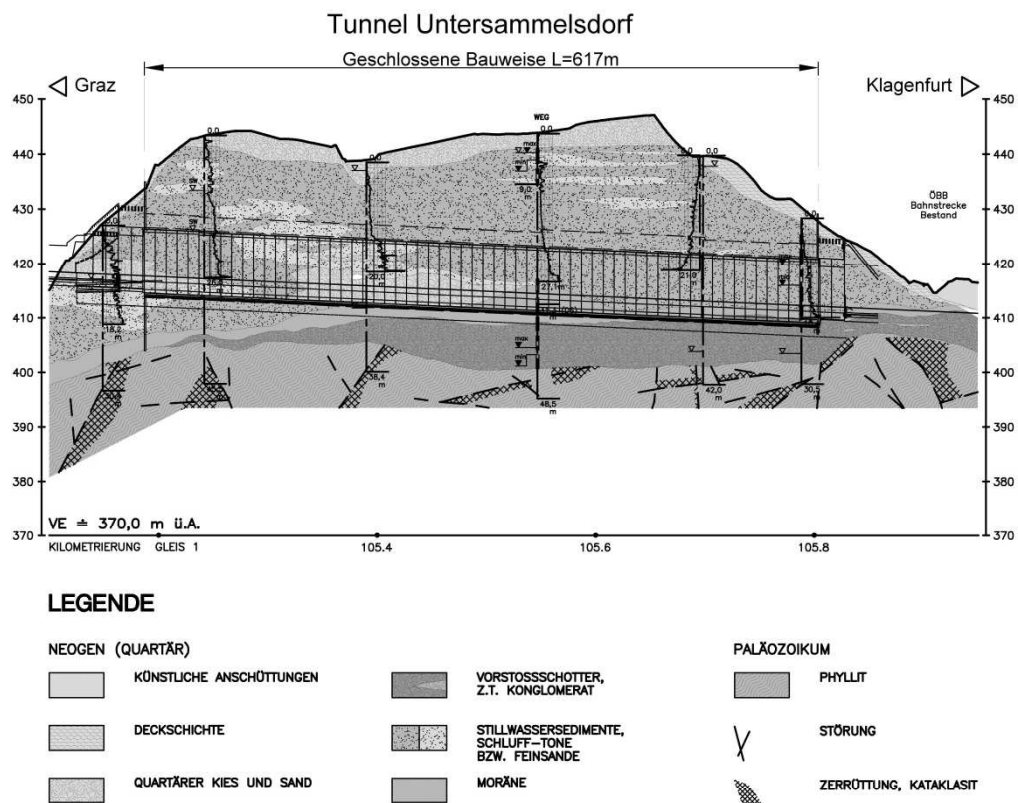


Abb. 2: geologisch-geotechnischer Längenschnitt

Grundwasser tritt im Strossen- und Sohlbereich des Tunnels in den quartären Kiesen und Sanden, den Vorstoßschottern sowie der Moräne auf. Innerhalb der Stillwassersedimente sind Schichtwasserführungen zu erwarten, die an Feinsandlagen gebunden sind. Aus der Wechselfolge aus durchlässigeren und stauenden Abschnitten resultieren oftmals druckgespannte Grundwässer.



Abb. 3: „Seeton“

Die quartären Kiese und Sande, Vorstoßschotter sowie Moränensedimente sind im Hinblick auf einen Tunnelvortrieb durch günstige Baugrundeigenschaften gekennzeichnet. Die Stillwassersedimente weisen hingegen eine geringe Festigkeit und insbesondere die schluff-tondominierten Böden auch eine sehr hohe Verformbarkeit auf. Bei ca. 40 % der untersuchten schluffig-tonigen Laborproben liegen demnach die Konsistenzzahlen I_c bei $< 0,5$ (Minimalwerte $< 0,1$). Dementsprechend wurden im Labor auch Steifemoduln E_{V1} von minimal 2 MN/m^2 (ca. 30 % der Proben $E_{V1} < 5 \text{ MN/m}^2$) ermittelt. Zudem reagieren diese Sedimente unter Wassereinfluss bzw. unter dynamischer Belastung mit Festigkeitsreduktion bis hin zu Festigkeitsverlust (z.B. Schwimmsanderscheinungen).

3 Erprobte Strategien bei komplexem Projektumfeld

3.1 Allgemeines

Projekte in der Geotechnik respektive im Tunnelbau sind in der Regel durch ein komplexes Umfeld mit vielen Einflussfaktoren, welche in gegenseitiger Wechselwirkung stehen, gekennzeichnet. Das übergeordnete Ziel einer aufeinander abgestimmten Optimierung von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit erfordert entsprechende Strategien im Zuge der Planung und Bauausführung.

Bei Tunnelprojekten der ÖBB-Infrastruktur AG werden diese Strategien, aufbauend auf den Forschungen, Entwicklungen und gesammelten Erfahrungen der letzten Jahrzehnte, im Rahmen des geotechnischen Sicherheitsmanagements erfolgreich umgesetzt. Ein Geotechnisches Sicherheitsmanagement zur Erreichung des übergeordneten Zieles setzt sich dabei, in Anlehnung an

Vavrovsky et al. (2001), ÖGG Richtlinie (2008) und Moritz et al. (2011), zusammen aus

Planungsstrategie:

Die Planungsstrategie erfordert eine nachvollziehbare und in mehreren Schritten aufgebaute geotechnische bzw. statisch-konstruktive Planung. Bei Tunnelprojekten wird dazu die ÖGG Richtlinie (2008) bzw. die RVS 09.01.42 herangezogen.

Dimensionierungsstrategie:

Die Dimensionierungsstrategie erfordert die Angabe von Mindestmaßnahmen und vor Ort festzulegender Maßnahmen inkl. deren Anwendungskriterien.

Weiters ist das zu erwartende SOLL-Verhalten für die maßgeblichen Beurteilungskriterien zu definieren. Dazu sind die zulässigen Bandbreiten für Abweichungen, das zugehörige Beobachtungsprogramm und die Vorgangsweise bei wesentlicher Überschreitung inkl. Warn- und Alarmkriterien anzugeben. Bei der Abgrenzung Mindestmaßnahmen und vor Ort Maßnahmen ist das maßgebliche Projektumfeld (z.B. oberflächennaher Tunnelbau, tiefliegender Tunnelbau, Baugruben, offene Bauweisen etc.) inkl. zugehöriger Reaktionszeiten möglichst umfassend zu berücksichtigen.

Bauabwicklungsstrategie:

Die Bauabwicklungsstrategie erfordert, nach Erfassen des IST-Verhaltens, einen Vergleich mit dem SOLL-Verhalten und, bei Einhaltung der definierten Bandbreiten, die Festlegung der Maßnahmen vor Ort. Bei wesentlich günstigerem erfasstem IST-Verhalten sind die Mindestmaßnahmen einvernehmlich anzupassen. Bei wesentlich ungünstigerem erfasstem IST-Verhalten sind, nach Maßgeblichkeit von Warn- oder Alarmkriterien, zusätzliche Maßnahmen zu setzen.

Dazu ist ein laufendes Beobachten, Analysieren, Interpretieren, Prognostizieren und Informieren erforderlich. Dies bedingt klar abgegrenzte Verantwortlichkeiten, entsprechende Handlungskompetenz und einen vorweg definierten Kommunikations- und Informationsablauf.

3.2 Planungsstrategie Tunnel Untersammelsorf

Die Planungsstrategie für den Tunnel Untersammelsdorf ist den Empfehlungen der ÖGG Richtlinie (2008) gefolgt. Die wesentlichen Schritte daraus sind nachfolgend zusammengefasst.

3.2.1 Bestimmung Gebirgsverhalten

Auf Basis der Baugrund- und Bergwasserverhältnisse und mit einer Ausbruchsfläche von 132,7 m² bei Überlagerungshöhen ab Tunnelfirste zwischen

7 m und 24,5 m wurden für das Gebirgsverhalten folgende wesentliche Szenarien abgeschätzt:

- Ausfließen des Gebirges aus Laibung und Ortsbrust zufolge der ungünstigen Zustandsformen bei den schluffig-tonigen Stillwassersedimenten
- Ausfließen des Gebirges aus Laibung und Ortsbrust zufolge der Bergwasserführungen
- Versagen des Schutzgewölbes über der Firste, siehe Vavrovsky (1987), aus geringer Verspannungsmöglichkeit an den Kämpfern zufolge des oberflächennah geringen horizontalen Spannungsniveaus bzw. zufolge reduzierter effektiver Spannungen
- Versagen des Schutzgewölbes über der Firste, siehe Vavrovsky (1987), aus geringer Verzahnungsmöglichkeit an den Kämpfern zufolge des geringen Reibungsanteils in der Scherfestigkeit
- Nachdrängen des Sekundärgewölbes über der Firste, siehe Vavrovsky (1987), aus verformungsabhängiger Entfestigung zufolge des geringen Kohäsionsanteils in der Scherfestigkeit
- Hohlräumnahes, progressives Scherversagen mit Ausbildung von größeren Aufbrüchen bzw. als letzte Konsequenz Verbrüchen an die Oberfläche mit sehr eingeschränkter Reaktionszeit zufolge Ausfließens, Versagens des Schutzgewölbes und Nachdrängen des Sekundärgewölbes

3.2.2 Anforderungen Systemverhalten, Tunnelbautechnisches Konzept und Detailfestlegung Maßnahmen

Im Sinne des tunnelbautechnischen Konzeptes bzw. der Detailfestlegung der Maßnahmen wurde folgendes als notwendig erachtet.

Ausbaukonzept:

Zur Gewährleistung der Ausbildung eines Schutzgewölbes über der Firste und zur Vermeidung des Ausfließens aus der Firste im Ausbruchsbereich ist ein DSV-Firstgewölbe notwendig.

Zur Verspannung bzw. Auflagerung dieses DSV-Firstgewölbes bzw. zur Vermeidung des Ausfließens im Ausbruchsbereich aus den Ulmen sind beidseitig bewehrte Bohrpfähle erforderlich.

Zur Abtragung der sich unvermeidlich einstellenden Gebirgslasten aus einem Nachsetzen des DSV-Firstgewölbes zufolge mangelnder Verspannung zwischen den Bohrpfählen und Entfestigung im Sekundärgewölbe ist eine SpC Schale herzustellen. Zur Absicherung des Bauzustandes vor dem

Ringschluss ist eine Kalottenfußverbereitung mit Einbindung in die Bohrpfähle erforderlich.

Zur Gewährleistung der Ortsbruststabilität während des Ausbruches Kalotte bzw. Strosse sind einzelne DSV-Ortsbrustsäulen aus dem DSV-Firstgewölbe bis auf Höhe SOK auszuführen.

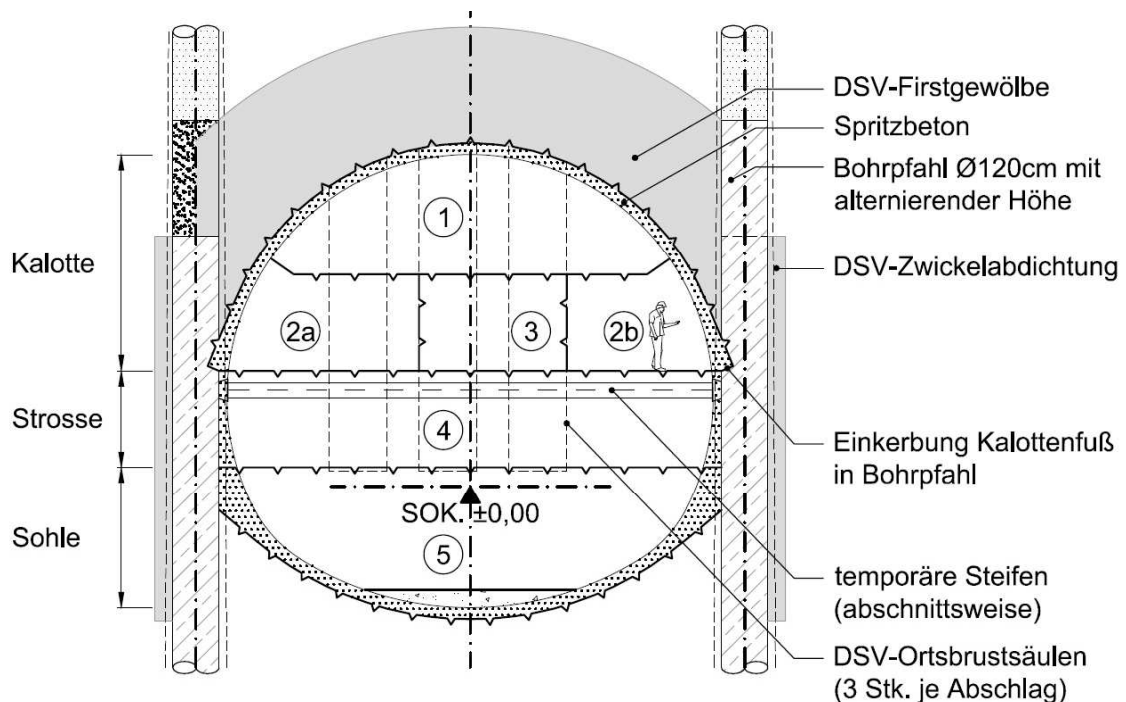


Abb. 4: Konzept Vortrieb – Querschnitt

Lösemethode:

Das Lösen des Ausbruchsmaterials erfolgt mittels Bagger.

Querschnittsteilung und Längsablauf:

Der Querschnitt wird in Kalotte und Strosse/Sohle geteilt. Die Kalotte kann, aufgrund ihrer Spezifikation, unbeschränkt vorausseilen. Die Abschlagslänge Kalotte orientiert sich am zugehörigen Raster der DSV-Ortsbrustsäulen und liegt im Bereich von 2 m.

Die Abschlagslänge Strosse und Sohle liegt zwischen 1,4 m und 3,2 m. Mit Ausbruch Strosse/Sohle ist die Ringschlussdistanz mit ca. 10 m beschränkt.

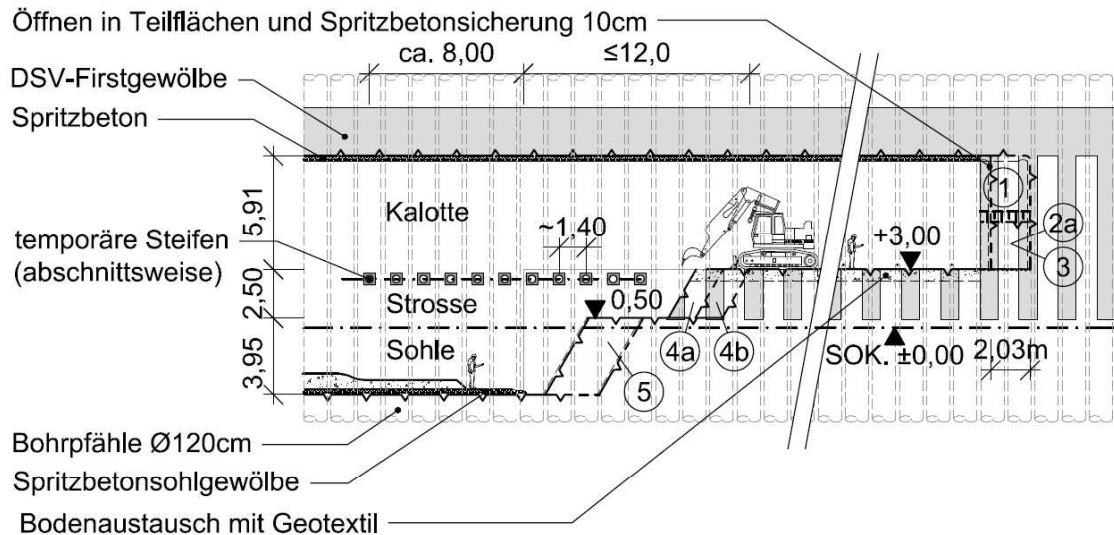


Abb. 5: Konzept Vortrieb – Längsschnitt

Bergwasserhaltung UT:

Die Bergwasserführungen in den sanddominierten Stillwassersedimenten und die Sickerwasserführungen werden, dem Vortrieb vorausgehend, mit Entwässerungsbohrungen UT und Entwässerungslanzen kontrolliert beherrscht.

Maßnahmen vor Ort:

Aufgrund der spezifischen Situation mit zu erwartender geringer Reaktionszeit sind bis auf die Ortsbrustsicherung mit SpC, eine allfällige Aussteifung der Bohrpfähle beim Ausbruch Strosse/Sohle und die Vakuumbeaufschlagung der Entwässerungslanzen keine nennenswerten vor Ort festzulegenden Maßnahmen möglich.

3.2.3 Überprüfung Systemverhalten

Zur Überprüfung der Prognose des Systemverhaltens wurden FE-Berechnungen in 3 charakteristischen Querschnitten mit unterschiedlicher Überlagerungshöhe, Bettung der Bohrpfähle unterhalb der Tunnelsohle und Neigung des Urgeländes durchgeführt. Weiters wurden Untersuchungen mit vollem und (durch Drainagemaßnahmen) reduziertem Wasserdruck, mit unterschiedlicher Dicke des DSV-Firstgewölbes sowie mit und ohne Einbau temporärer Steifen im Strossenbereich durchgeführt. Die FE - Berechnungsmethode ermöglicht die Ermittlung der Lastabtragung im Gebirge und in den vorab hergestellten Maßnahmen DSV-Firstgewölbe und Bohrpfahlwände sowie das Erfassen der einzelnen Bauzustände.

Die Auswertungen der Spannungen im DSV-Firstgewölbe zeigt in der Regel eine geringfügige Überlastung in den unteren Anschlussbereichen an die Bohrpfähle

Die Schnittgrößen der Bohrpfähle, insbesondere das maximale Biegemoment und Verformungen, zeigten eine große Abhängigkeit vom angesetzten Wasserdruck sowie davon, ob eine temporäre Aussteifung im Strossenbereich vorgesehen wird oder nicht. Aus den Ergebnissen der Berechnungen wurde eine Wasserhaltung im Bauzustand sowie abschnittsweise eine temporäre Aussteifung der Bohrpfähle im Strossenbereich abgeleitet. Mit dieser wird sowohl eine Reduktion der erforderlichen Pfahlbewehrung als auch eine Reduktion der Pfahlverformungen erreicht.

4 Erweiterte Planungsstrategie

4.1 Allgemeines

Mit den dokumentierten Planungsschritten konnten die erforderlichen Elemente zu Ausbruch und Stützung für den Tunnel Untersammelsdorf festgelegt werden. Aus der spezifischen Baugrundsituation heraus sind jedoch im Zuge des Planungsprozesses folgende spezifische Fragestellungen aufgetreten

DSV:

Welche Herstellungsverfahren sind für das Düsenstrahlverfahren in den Stillwassersedimenten geeignet? Welche Herstellungsparameter (Bohr- und Düsparameter) sind dabei einzuhalten?

Welche Festigkeiten sind für das Düsenstrahlverfahren in den Stillwassersedimenten erreichbar?

Welche Durchmesser sind für das Düsenstrahlverfahren in den Stillwassersedimenten erreichbar?

In welchen Kubaturen ist der anfallende DSV-Rücklauf zu erwarten?

Wie kann der DSV-Rücklauf im Bauablauf manipuliert werden, wie kann der Wassergehalt im DSV-Rücklauf reduziert werden?

Vortrieb:

Kann eine ausreichende Verspannung DSV-Firstgewölbe – Bohrpfahlwände erreicht werden?

Ist eine SpC Ortsbrustsicherung in Ergänzung zu den DSV-Säulen erforderlich?

In welchen Größenordnungen sind die Verformungen (Vertikalverschiebung Schutzgewölbe, Verschiebungen Bohrpfahlwände,...) zu erwarten? Sind wesentliche Veränderungen im Porenwasserdruck innerhalb der Stillwassersedimente zufolge Vortrieb messbar?

Können die Überstände der Einzelsäulen des DSV-Firstgewölbes entsprechend profilgenau ausgebrochen werden?

Bohrpfahlwände:

Welche Herstellungsverfahren sind für die Bohrpfahlwände in den Stillwassersedimenten geeignet? Ist mit Einschnürungen bzw. Verdickungen im Pfahlbeton zu rechnen?

Für diese Fragestellungen war eine eindeutige Beurteilung der Einflussfaktoren und Wechselwirkungen sowohl mit den zur Verfügung stehenden Analysemethoden, mangels geeigneter Rechenverfahren, als auch aus vergleichenden Untersuchungen, mangels Erfahrung von zyklischem Tunnelvortrieb mit ca. 137m² Ausbruchsfläche in schluffig-tonigen Stillwassersedimenten („Seeton“) geringer Konsistenz, nicht möglich. Damit musste das zugehörige Restrisiko oberhalb der Akzeptanzschwelle eingestuft werden.

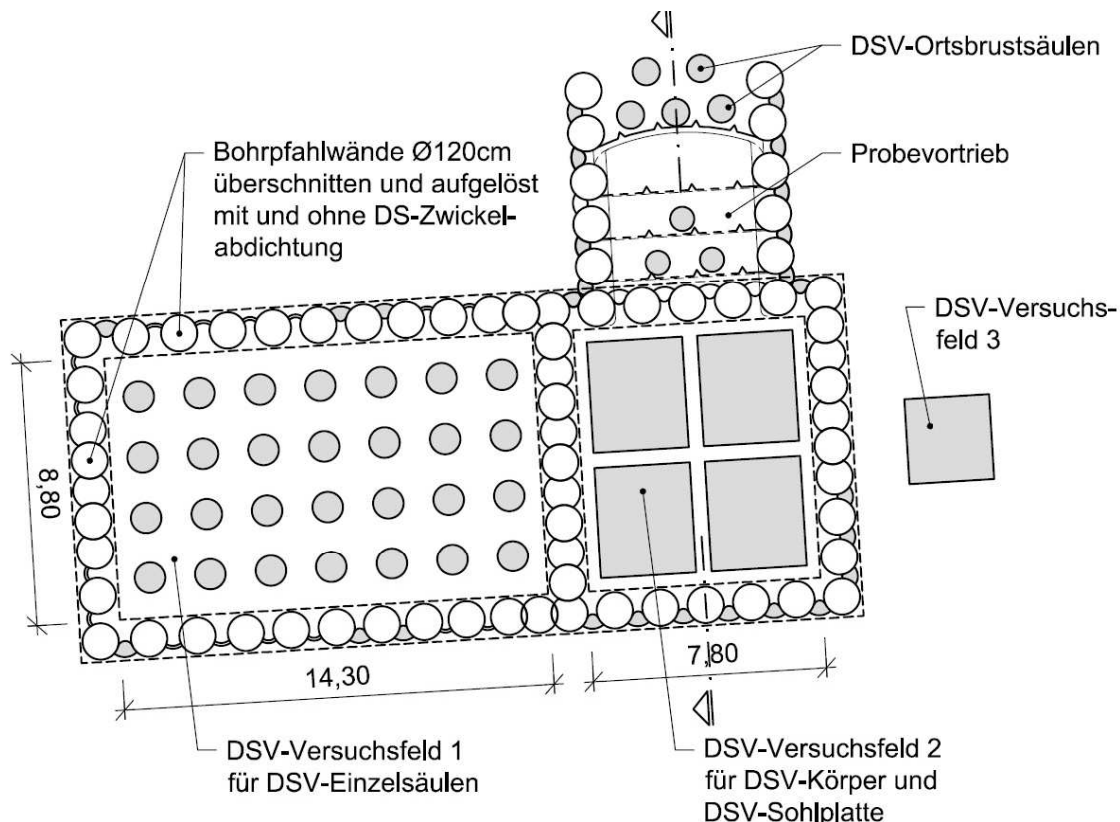


Abb. 6: Lageplan Versuchsfeld Untersammelsdorf

Unter Beachtung des übergeordneten Zieles, abgestimmte Optimierung von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit, war somit eine Erweiterung der erprobten Planungsstrategie erforderlich. Umgesetzt wurde diese Erweiterung der Planungsstrategie mittels empirischer Sammlung von Daten und daraus generierter Informationen im Rahmen des Versuchsfeldes Untersammelsdorf, siehe auch Schachinger et al. (2010), bzw. im Rahmen von nachfolgend

durchgeführten Versuchen zur Konditionierung (Entwässerung) des DSV-Rücklaufes.

4.2 Versuchsfeld Untersammelsdorf – DSV

Im Rahmen des Versuchsfeldes DSV wurden 3 unterschiedliche Kompartments VF1 – VF2 – VF3 ausgeführt.



Abb. 7: Versuchsfeld Untersammelsdorf – DSV

Versuchsfeld VF1:

Im Zuge des Abschnittes VF1 wurden insgesamt 28 Einzelsäulen im 1-Phasenverfahren (S), 2-Phasenverfahren (SL) und 3-Phasenverfahren (WSL) in Tiefen von 6 bis 10m ausgeführt. Dabei sollten u.a. die erreichbaren Durchmesser, Festigkeit, Bohrgenauigkeit, Gleichförmigkeit der Säulen, Rücklaufmenge, Rücklaufentsorgung, Bindemittelverbrauch in Abhängigkeit des Herstellverfahrens mit variierenden Herstellparametern geklärt werden. Während bzw. nach der Ausführung wurden die Säulendurchmesser mittels Messung von OT, die anfallende Rücklaufmenge pro Säule, die Festigkeit und Viskosität von Frischsuspension und Rücklauf, die Festigkeit der DSV-Säulen erhoben und die Herstellparameter normgemäß aufgezeichnet.

Versuchsfeld VF2:

In VF2 wurden zur Fragestellung gesicherte Ausbildung des DSV-Firstgewölbes in Tiefen von 6 bis 10m und 12 bis 15m DSV-Körper aus DSV-Einzelsäulen hergestellt. Dabei wurden der Anordnungsraster (Dreiecks- bzw. Vierecksraster), der Überschnitt und die Herstellreihenfolge (frisch-frisch, frisch-fest) variiert.



Abb. 8: DSV-Körper in VF2

Versuchsfeld VF3:

Der Versuchsfeldabschnitt VF3 wurde mit der Zielsetzung Ausführbarkeit der DSV-Säulen in Tiefen $>20\text{m}$ mit zugehöriger Bohrabweichung und Austragung des DSV-Rücklaufes hergestellt, wobei sowohl das 1-Phasensystem als auch das 2-Phasensystem herangezogen wurde. Die Bohrabweichung wurde mittels Inklinometer gemessen.

Mittels Auswertung der Messdaten bzw. der Herstellungsüberwachung konnten folgende wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die Fragestellungen gewonnen werden

- Herstellverfahren 3-Phasensystem liefert keine zufriedenstellenden Ergebnisse, 1- und 2-Phasensystem erfordern Vorschneiden
- Durchmesser DSV-Säule von 1,5 m herstellbar
- Festigkeiten DSV-Säule von 4 MN/m^2 erzielbar
- DSV-Körper im Dreiecksraster ohne Überschneidung (jeweils 3 DSV-Säulen treffen sich plangemäß in einem Punkt) möglich
- Kubatur DSV-Rücklauf mind. 3,5mal Kubatur DSV-Säulen
- Herstellreihenfolge frisch-fest
- Bohrabweichung unter Einhaltung ÖNORM EN 12716 möglich
- Konditionierung (Entwässerung) des DSV-Rücklaufmaterials vor Deponierung erforderlich

4.3 Versuchsfeld Untersammelsdorf – Überprüfung Pfahlherstellung

Insgesamt wurde 60 Bohrpfähle mit Tiefen von 18 m unter Arbeitsplanum und zusätzlich 10 Pfähle mit Tiefen von 26,5 m unter Arbeitsplanum abgeteuft. Die Pfähle wurden dabei einerseits überschnitten und andererseits mit lichten Abständen zwischen 13 cm und 40 cm ausgeführt. Bei der Pfahlherstellung kamen eine Vlies- sowie Streckmetallummantelung der Bewehrung zum Einsatz. Die Pfähle wurden mittels Greiferbohrungen hergestellt. Das Ansetzen der Pfähle erfolgte mit Bohrschablonen.

Mittels Auswertung der Messdaten bzw. der Herstellungsüberwachung konnten folgende wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die Fragestellungen gewonnen werden

- Aushub mittels Greifer ohne Zusatzmaßnahmen möglich
- Kein Einschnüren und Verdicken festgestellt (Ummantelung des Bewehrungskorbes nicht erforderlich; Vliesummantelung kontraproduktiv)
- Bei überschnittenen Bohrpfählen markante Abweichungen bis zu 3% von der SOLL-Lage mit Pfahlzwischenraum ca. 4 cm festgestellt

4.4 Versuchsfeld Untersammelsdorf – Überprüfung Tunnelvortrieb

Der Tunnelprobenvortrieb erfolgte von VF2 aus Richtung Süden. Dabei wurden 4 Abschlüge mit Abschlagslängen von ca. 1,4 m, einer Querschnittsbreite von ca. 4,8 m, mit DSV-Firstgewölbe bzw. einer parallel verlaufenden Bohrpfahlwand, mit SpC Sicherung Laibung und mit DSV-Ortsbrustsäulen hergestellt. Das Lösen erfolgte mittels Kleinbagger, wobei im gesamten Querschnittsbereich die schluffig-tonigen Stillwassersedimente („Seeton“) anstanden. Die DSV-Ortsbrustsäulen bzw. DSV-Firstgewölbe wurden mittels Anbaufräse gelöst bzw. nachprofiliert.

Zur messtechnischen Überwachung des Probenvortriebes wurden geodätische Messpunkte (MPT), ein Bohrpfahlinklinometer (IK05) sowie zwei Sondenextensometer (SE1 und SE2) im Ausbruchsquerschnitt installiert. Darüber hinaus wurde mit Piezometern (PW) die Änderungen des Porenwasserdruckes im und unterhalb des Ausbruchsquerschnittes aufgezeichnet.

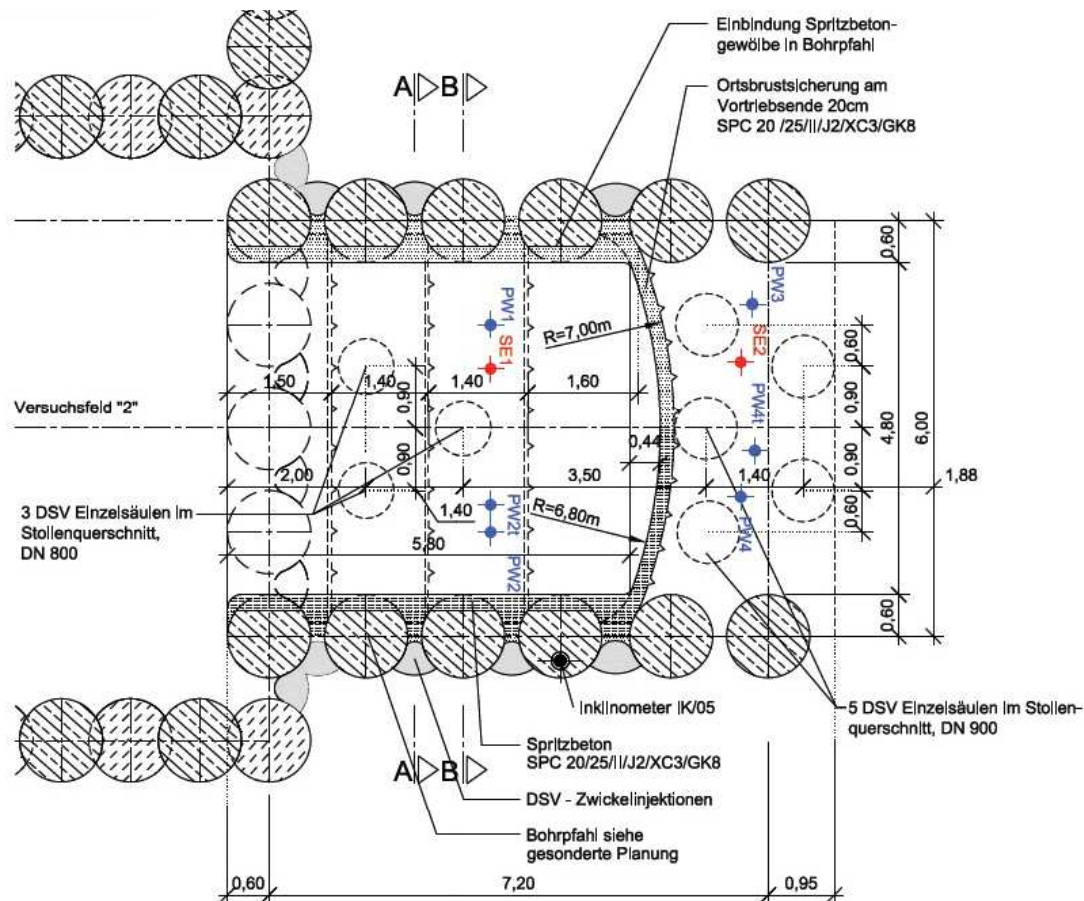


Abb. 9: Tunnelprobenvortrieb - Grundriss

Mittels Auswertung der Messdaten bzw. der Herstellungsüberwachung konnten folgende wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die Fragestellungen gewonnen werden

- Lösen der Stiltwassersedimente mittels Bagger ohne Zusatzmaßnahmen möglich
- Verspannung DSV-Firstgewölbe – Bohrfahlwände ausreichend
- Keine wesentlichen Verschiebungen des DSV-Firstgewölbes messbar
- Profilieren des DSV-Firstgewölbes mittels Anbaufräse möglich
- Nach Ausbruch ist kurzfristig ein Porenwasserunterdruck messbar
- Stabilität Ortsbrust mit DSV-Ortsbrustsäulen gegeben
- wesentliche Wärmeentwicklungen im Vortriebsbereich aus dem Abfließen der Hydratationswärme messbar.

4.5 Versuche Konditionierung DSV Rücklauf

Aufgrund der spezifischen Baugrundsituation ist verfahrensbedingt mit wesentlichen Kubaturen von DSV-Rücklauf zu rechnen. Im Zuge des Versuchsfeldes Untersammelsdorf wurde festgestellt, dass der DSV-Rücklauf

mittels Gravitation, d.h. durch ein Absetzen in entsprechenden Becken, nicht ausreichend entwässerbar ist.

Darauf hin wurden in einer ersten Untersuchungsphase an der Montanuniversität Leoben verschiedenste Entwässerungsversuche mit variierendem Anteil von Zement und Boden der Suspension durchgeführt, siehe Moser (2012). Gem. Moser (2012) konnten folgende wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die Fragestellungen gewonnen werden

- Entwässerung mittels Sedimentation bei zu erwartender Zusammensetzung DSV-Rücklauf nicht oder nur bedingt möglich; durch Zugabe von Flockungsmittel keine wesentliche Verbesserung
- Entwässerung mittels Hydrozyklon bei zu erwartender Zusammensetzung DSV-Rücklauf nicht oder nur bedingt möglich
- DSV-Rücklauf aus schluffig-tonigen Stillwassersedimenten erreicht unter bestimmten Zusammensetzungen eine scheinbare Festigkeit, die bei mechanischer Beanspruchung verloren geht
- Entwässerung mittels Filtration im Labor möglich.

Auf Basis der Ergebnisse Moser (2012) wurden bei insgesamt 4 Produzenten von Aufbereitungsanlagen (Step Oiltools GmbH / Hiller GmbH, Flottweg SE, Tecnoidea Impianti Srl, Andritz AG Separation Technologies) Großversuche zur Konditionierung durchgeführt. Dabei sollte insbesondere festgestellt werden, welche Feststoffmasskonzentrationen von den unterschiedlichen Entwässerungsapparaten verarbeitet werden können und welche Restfeuchten im entwässerten Feststoff erzielt werden können. Eingesetzt wurden sowohl Kammerfilterpressen als auch Dekanter.

Mittels Auswertung der Messdaten konnten folgende wesentliche Erkenntnisse und Antworten auf die Fragestellungen gewonnen werden

- Entwässerung sowohl mit Kammerfilterpresse als auch Dekanter möglich
- Restfeuchten w_A (bezogen auf die Gesamtmasse) zwischen 20 und 35% möglich
- Flockungsmittel bei Zement im DSV-Rücklauf ohne wesentlichen Einfluss auf Entwässerung
- Bei Kammerfilterpressen wesentlicher Einfluss auf Entwässerungszeit durch Zement im DSV-Rücklauf feststellbar.

5 Schlussfolgerungen

Die Aufgabenstellungen bei der Projektentwicklung Tunnel Untersammelsdorf haben gezeigt, dass oftmals erprobte Strategien und Vorgangsweisen nicht

ausreichen um das übergeordnete Projektziel einer abgestimmten Optimierung von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu erreichen. Somit hat das im Projekt involvierte Ingenieurteam versucht die laufend aufgetretenen neuen Einflussfaktoren auf deren Wechselwirkungen abzuklären. Nach einer entsprechenden Risikobewertung, wurden, im Sinne einer Erweiterung der Planungsstrategie, zusätzliche empirischen Untersuchungen bzw. Versuche angestellt.

Eindeutig manifestiert hat sich diese Vorgangsweise sowohl im Versuchsfeld Untersammelsdorf, wo im Realmaßstab wesentliche Elemente aus Ausbruch und Stützung auf die Herstellbarkeit bzw. Wirksamkeit im Sinne des erforderlichen Systemverhaltens getestet wurden, als auch bei den weiterführenden Untersuchungen zur Konditionierung des DSV-Rücklaufes.

Die Erkenntnisse daraus wurden in der Ausschreibungsplanung Abschnitt Mittlern – Althofen, Baulos 60.3 St. Kanzian entsprechend berücksichtigt.

6 Literatur

Vavrovsky, G.M. (1987)

Entspannung, Belastungsentwicklung und Versagensmechanismen bei Tunnelvortrieben mit geringer Überlagerung. Montanuniversität Leoben, Dissertation. 1987

Vavrovsky, G.M., Ayaydin, N., Schubert, P. (2001)

Geotechnisches Sicherheitsmanagement im oberflächennahen Tunnelbau. Felsbau, Jahrgang 19 (2001), Heft 5, 133 – 139.

ÖGG - Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2008)

Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb. 2. Auflage, 2008.

Schachinger, T., Gaube, H., Krainer, G. (2010)

Erkenntnisse aus dem Versuchsfeld Untersammelsdorf für die Gestaltung der Vortriebsmaßnahmen. Geomechanics and Tunneling, Jahrgang 3 (2010), Heft 2, 201 – 214.

Moritz, B., Koinig, J., Vavrovsky, G.M. (2011)

Geotechnisches Sicherheitsmanagement im Tunnelbau – ein effizienter Weg zur Schadensvermeidung. Vortrag beim 60. Geomechanik Kolloquium Salzburg. 2011

Moser, A. (2012)

Entwässerungsversuche an Suspensionen aus dem Düsenstrahlverfahren. Montanuniversität Leoben, Diplomarbeit. 2012.