

Konzepte zur Bewältigung druckhafter Gebirgsverhältnisse beim Koralmtunnel

Tunnelling methods for zones of squeezing rock mass behav- iour at the Koralmtunnel

58. Geomechanisches Kolloquium

Salzburg, den 08/09.10.2009

H. Wagner, ÖBB-Infrastruktur Bau AG, Graz, A
D. Handke, Ingenieurbüro Maidl + Maidl, Bochum, D
J. Matter, Basler & Hofmann AG, Zürich, CH
H. Ludwig, Basler & Hofmann AG, Zürich, CH
D. Fabbri, Lombardi AG, Minusio, CH
K. Keiper, Lombardi AG, Minusio, CH

1 Projektübersicht und Einleitung

Der ca. 33 km lange Koralmtunnel stellt das Hauptbauwerk der neuen Hochleistungsstrecke „Koralmbahn“ zwischen Graz und Klagenfurt dar. Untergliedert in drei Baulose, wird die Koralpe überwiegend im kontinuierlichen Vortrieb durchörtert. Die Gleisführung erfolgt einspurig in zwei annähernd parallel verlaufenden Tunnelröhren. Der Ausbruchquerschnitt beträgt etwa 77 m²; alle 500 Meter sind die Tunnel durch Querschläge miteinander verbunden. Etwa in Tunnelmitte wird eine Nothaltestelle ausgebrochen. Die Überdeckung des Gebirges steigt maximal bis auf 1.250 Meter an.

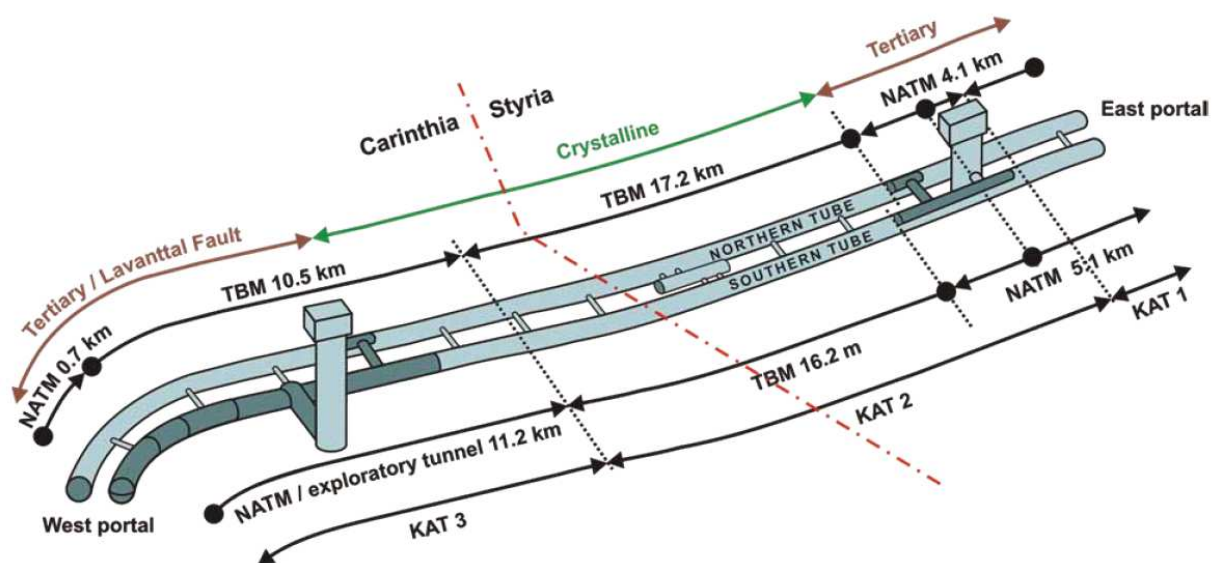


Bild 1: Projektübersicht Koralmtunnel.

Der vorliegende Beitrag behandelt die kontinuierlichen Vortriebe der Baulose KAT 2 (Steiermark) und KAT 3 (Kärnten), und stellt nach Darstellung der Grundkonzepte für Ausbausicherung und Maschinensystem die besonderen Vorkehrungen zur Bewältigung der druckhaften Gebirgsverhältnisse vor.

2 Geotechnische und hydrogeologische Randbedingungen

Aus den geologischen Verhältnissen lassen sich für die kontinuierlichen Vortriebe insgesamt drei stark unterschiedliche geotechnische Randbedingungen identifizieren:

- Im Kristallinabschnitt, der den Zentralbereich der Koralpe darstellt, stehen überwiegend gering zerlegte Festgesteinsabschnitte mit stark bis extrem abrasiven Gesteinsarten und hohen Gebirgsüberlagerungen bis 1.250 Metern sowie lokal hohen Wasserdrücken an. Die im Kristallin zutretenden Wassermengen sind üblicherwei-

se an Bereiche mit stärkerer Zerlegung, Zerrüttungszonen oder Störungen gebunden, werden aber grundsätzlich drainiert.

- Die neogenen Sedimentgesteinstrecken, die in den Tunnelanfangsbereichen dominieren, besitzen weitgehend Lockergesteinscharakter mit geringen Gesteinsdruck- und -zugfestigkeiten. Strömungsdrücke bis zu 2,5 bar und das Antreffen von kugeligen Konkretionen können den Vortrieb erschweren.
- Der dritte geotechnische Bereich umfasst tektonische Störungen, die in Mächtigkeiten von mehreren Dezimetern bis zu einigen Zehnermetern prognostiziert sind. Sie sind durch einen heterogenen Aufbau aus Kataklasiten, Blöcken und stark zerlegtem sowie ungestörtem Fels charakterisiert.

Die internen Strukturen der Störungen besitzen damit für Planung und Ausführung eine überaus große bautechnische Relevanz.

3 Grundkonzept für Maschinen- und Ausbausystem

Da für einen Großteil der kontinuierlich aufgefahrenen Vortriebsstrecken von standfestem oder nur hohlraumnah überbeanspruchtem Gebirge ausgegangen werden kann, wird insbesondere auch aus wirtschaftlichen Gründen als Ausbausicherung beim Bau des Koralm-tunnels eine „Einschaligkeit“ angestrebt, die durch eine Tübbingauskleidung sichergestellt wird. Die geotechnischen Randbedingungen erlauben es somit aus statischer Sicht, auf den Einbau einer Innenschale weiträumig verzichten zu können. In bautechnisch relevanten Störungen sowie im stärker zerlegten Anfangsbereich des Kristallinabschnittes wird planmäßig eine abgedichtete Innenschale eingebaut. Bild 2 stellt das Regelprofil für die im kontinuierlichen Vortrieb aufgefahrenen Tunnelröhren dar.

Maschinen- und Ausbaukonzept bilden insgesamt eine Einheit. Die einzusetzenden TVM und das Tübbingsystem sind auf die Bauvorgaben abzustimmen. Die Tübbinge im Sohlbereich werden in ein Mörtelbett gelagert; eine Perlkiesverblasung synchron zum Vortrieb durch Öffnungen im Tübbing sichert die restliche Verfüllung des Ringspaltes.

Bei der Durchörterung von bautechnisch relevanten Störungen werden hochfeste, höher bewehrte Tübbinge eingebaut, die durch eine vollumfängliche Mörtelverpressung gebettet werden.

Für die kontinuierlichen Vortriebe sind generell Tunnelbohrmaschinen (TBM) vom Typ TBM-S (TBM mit Einzelschild) oder TBM-DS (TBM mit Doppelschild) zugelassen. Die Konstruktionsvorgaben sehen einen möglichst kurzen Schild vor. Der Schildmantel wird

konisch ausgebildet. Mit diesen Maßnahmen soll einem möglichen Verkleben des Schildes entgegengewirkt werden. Ein geschlossen und eben ausgebildeter Bohrkopf soll die Ortsbrust stützen und einen vorauseilenden Ausbruch verhindern. Mit den außen liegenden Kaliberdisken ist ein radialer Überschchnitt zu erzielen. Der Bohrkopf ist zur Vergrößerung des Überschchnitts exzentrisch verkipptbar. Öffnungen im Schildmantel sollen Injektionen mit reibungsmindernden Stoffen (z.B. Bentonitpaste) ermöglichen. Für Erkundungs-, Entwässerungs- und Injektionsbohrungen sind weitere Öffnungen im Schildmantel und im Bohrkopf einzuplanen.

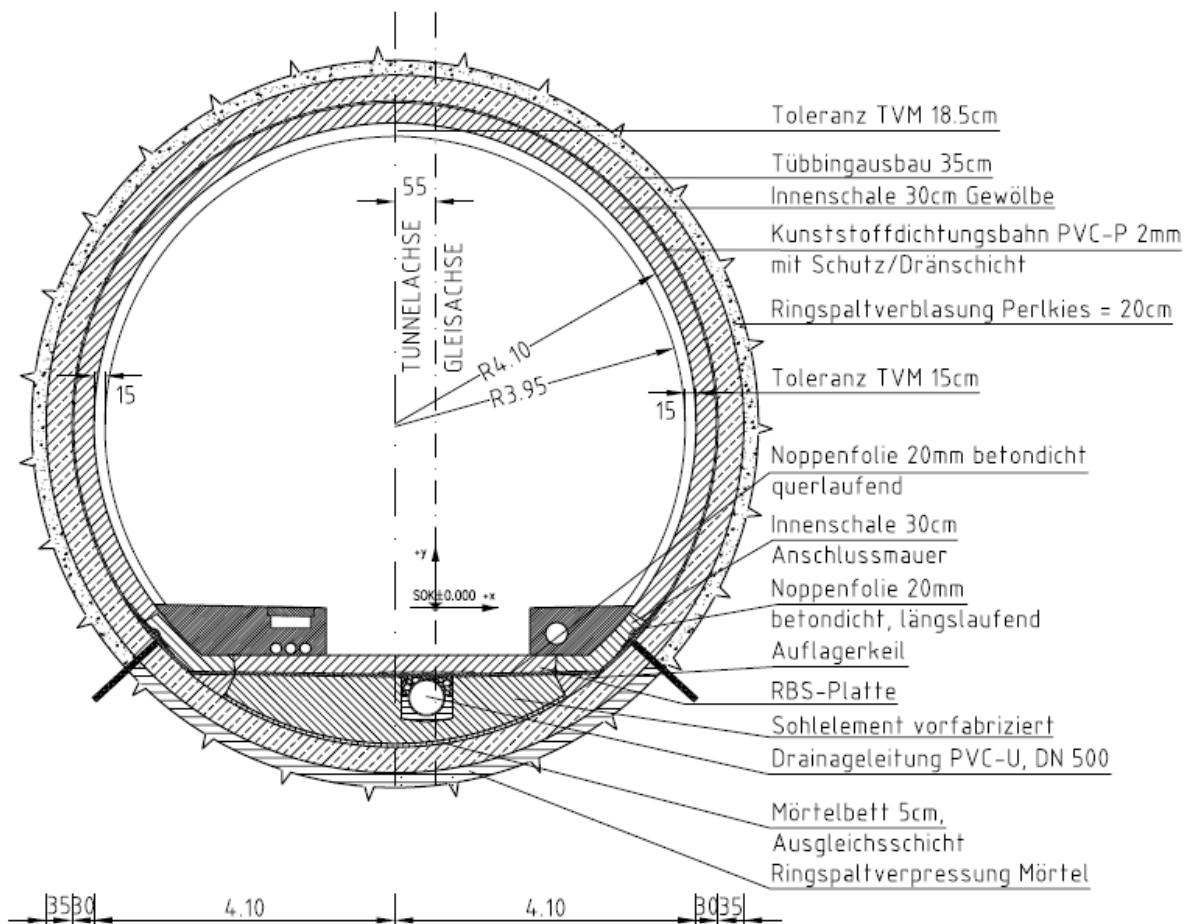


Bild 2: Koralmtunnel: Regelprofil kontinuierlicher Vortrieb.

4 Geotechnische Charakterisierung der druckhaften Gebirgsverhältnisse

Druckhafte Gebirgsverhältnisse stellen ein maßgebliches Gefährdungspotential für Ausbau und Maschine beim kontinuierlichen Vortrieb des Koralmtunnels dar, welches über das in Kapitel 3 dargestellte Grundkonzept für Maschine und Ausbau hinaus weitergehende Analysen und Lösungskonzepte erfordert.

Unter dem Begriff „druckhaft“ werden Phänomene zusammengefasst, die beim Tunnelbau in Gesteinen mit geringer Festigkeit und hoher Verformbarkeit und in Verbindung mit

großen Überlagerungshöhen als Folge einer tiefreichenden Überschreitung der Gesteinsfestigkeiten auftreten können. Die Auswirkungen sind allgemein lang anhaltende und große Deformationen, welche sich am ungestützten Hohlraumrand entwickeln und auf den Ausbau einwirken.

Aufgrund der vielfältigen Eigenschaften und der möglichen Auftretensformen von druckhaften Gebirgsverhältnissen (langsame und anhaltende Deformationsentwicklung bis hin zu schlagartig auftretenden Spannungsumlagerungen mit spröden Ablösungen) können diese nicht als eine Gebirgsart beschrieben oder in einem Gefährdungsbild zusammengefasst werden.

Diesem Umstand Rechnung tragend verwalten die im deutschsprachigen Raum gültigen normativen Regelwerke verschiedene, aus dem geotechnischen Verhalten ableitbare Gefährdungsbilder, welche einzeln oder in Kombination das übergeordnet und allgemein als „druckhaft“ bezeichnete Gebirgsverhalten beschreiben.

Die auf Basis der ÖGG-Richtlinie „Richtlinie für die geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit zyklischem Vortrieb“ ausgeführte geomechanische Prognose führt zu den nachfolgend aufgeführten Gebirgsverhaltenstypen (GVT), mit welchen die Auftretensformen von druckhaften Gebirgsverhältnissen für den Koralmtunnel charakterisiert werden. Die Gebirgsverhaltenstypen beschreiben dabei definitionsgemäß das zeitliche und räumliche Versagensverhalten des Gebirges bei Vollaussbruch auf der gesamten Länge, ohne Berücksichtigung von Stütz- oder Zusatzmaßnahmen.

- GVT 4 Tiefreichende Überbeanspruchung
- GVT 5 Bergschlag
- GVT 9 Fließendes Gebirge
- GVT 10 Quellendes Gebirge
- GVT 11 Gebirge mit rasch wechselnden Eigenschaften

Anhand der Ergebnisse der Erkundungsbohrungen für den Kristallinabschnitt konnte ein geotechnisches Prognosemodell entwickelt werden, welches das Gebirge in 4 Gebirgsabschnitte unterteilt. Für Störungen konnte eine Einteilung in bautechnisch relevante Störungen, welche in einem Prognosemodell explizit ausgewiesen werden und Störungen, welche lokal in den Gebirgsverband eingelagert sein können, die aber auf Grund deren geringer Mächtigkeit und Heterogenität eher von untergeordneter bautechnischer Relevanz sind, unterschieden werden.

Störungs-Typ	Geotechnische Charakterisierung	Bautechnische Relevanz
A	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr mächtig (Zehnermeter) mit stark heterogenem Internaufbau. • Große Mächtigkeiten an Kataklasiten und zerrüttetem Fels. • Hoher Anteil kompetenter Felsschollen. • Unterteilung in drei Subtypen (A1, A2 und A3, Unterscheidung hinsichtlich Normalmächtigkeit und Blockgröße) 	hoch
B	<ul style="list-style-type: none"> • Mächtig (< ca. 15 m) mit einem Internaufbau mäßiger Heterogenität. • Hohe Anteile an zerrüttetem Fels sowie Kataklasiten mit anastomosierenden, geringmächtigen Scherbahnen welche durch wellig/glatte Scherflächen und feinkörnigem, kataklastischem Material gekennzeichnet sind 	hoch
C	<ul style="list-style-type: none"> • Geringmächtig mit einem Internaufbau geringer Heterogenität. • (Sehr) hohe Anteile an Kataklasiten. 	untergeordnet
D	<ul style="list-style-type: none"> • Geringmächtig mit einem Internaufbau geringer Heterogenität. • schieferungsparalleles Auftreten • Hohe Anteile an Kataklasiten. 	
E	<ul style="list-style-type: none"> • Geringmächtig mit einem Internaufbau ohne nennenswerte Heterogenität • Zerrüttungszone, sehr geringe Anteile an Kataklasiten • Sehr hohe Anteile an stark zerlegtem bis zerrüttetem Fels bzw. tektonischen Brekzien. 	

Maßgebend für die Bewertung der bautechnischen Relevanz werden neben der Gesamtmächtigkeit und der Überlagerungshöhe auch der Internaufbau der Störungen sowie insbesondere die Mächtigkeit von zusammenhängenden Kataklasitlagen. Geomechanische Untersuchungen zeigten hier im ungünstigsten Fall bei höchster Überlagerung bereits eine signifikante bautechnische Relevanz bei Einzelmächtigkeiten zusammenhängender Kataklasiten von über ca. 2 m.

Zusammenfassend lässt sich folgendes festhalten:

- Bautechnisch relevante Störungen lassen sich dem Gebirgsverhaltenstyp GVT 11 bzw. 4 zuordnen. Je nach Interngliederung und Kataklasitanteilen muss von druckhaftem Verhalten auch bereits bei moderaten Überlagerungshöhen ab ca. 500-600 m ausgegangen werden.
- Das Auftreten von druckhaften Abschnitten im Gebirgsverband (GVT 4) ist abhängig vom Zerlegungsgrad, der Häufigkeit von zusammenhängenden Gesteinsfolgen mit ge-

ringer Festigkeit bzw. hoher Verformbarkeit sowie von Art und Anzahl der eingeschalteten geringmächtigen Störungen der Typen C bis E.

- Das Bergschlagrisiko (GVT 5) nimmt mit der Überlagerungshöhe signifikant zu.
- Die Szenarien Fließendes Gebirge (GVT 9) bzw. quellendes Gebirge (GVT 10) stellen Gefährdungen dar, welche naturgemäß nicht gänzlich auszuschließen sind, deren Auftreten jedoch als untergeordnet bzw. auf Einzelereignisse beschränkt prognostiziert wurden.
- Die prozentuale Zuordnung führt zu einer Verteilung, die im Mittel auf ca. 20% der Strecke druckhafte Verhältnisse erwarten lässt.

5 Erfahrungen mit der Bewältigung der NÖT-Strecken beim Erkundungstunnel im Hinblick auf druckhafte Abschnitte

Die Erkundungstunnel werden, bzw. wurden durchgängig konventionell im zyklischen Vortrieb unter Anwendung der Spritzbetonbauweise (NÖT) erstellt. Die NÖT-Bauweise beherrscht druckhafte Gebirgsverhältnisse im Wesentlichen durch Zulassung von Gebirgsdeformationen, um so den Gebirgsdruck abzubauen. Die Innenschale wird erst nach einem verhältnismäßig langen Zeitraum, nach weitgehendem Abklingen der Verformungen, eingebaut.

Das bei den Erkundungstunneln aufgrund der Vortriebserfahrungen umgesetzte Vortriebs- und Sicherungskonzept wird nachfolgend beispielhaft an einem Abschnitt der Lavantaler Störungszone, auf Kärntner Seite (KAT 3), bei Station 1.231 des Erkundungstunnels Paierdorf Ost, beschrieben.

Die Station 1.231 liegt, eingerahmt von zwei Zerrüttungszonen (Mächtigkeit je ca. 12 bis 15 Meter), in einer feinkörnigen, etwa 10 Meter mächtigen Kataklastizone und ist dem Gebirgsverhaltenstyp 4 zugeordnet. Die Gebirgsüberlagerung beträgt ca. 240 m. Das Störungsgestein fällt steil gegen die Vortriebsrichtung ein und ist intensiv zerschert. Das tonige Material zeigt plastische Verformungseigenschaften auf. Polierte Harnischflächen begrenzen die Kluft- und Scherkörper.

Für den betreffenden Gebirgsabschnitt waren Gesamtverschiebungen von ≤ 200 mm prognostiziert, was eine niedrige bis mittlere Auslastung der Stützmittel bedeutet hätte. Aufgrund der Harnischflächen wurde mit gefügebedingten Nachbrüchen gerechnet.

Die Annäherung an diesen Bereich wies ein tendenziell erhöhtes Verformungsverhalten aus, so dass weitergehende Maßnahmen zur Beherrschung erforderlich wurden. Überbeanspruchungen der Spritzbetonschale waren aufgrund der Analysen nicht auszuschließen.

Die Abschlagslängen des Kalottenvortriebs wurden auf 1,30m begrenzt. Zur Sicherung der Ausbruchlaibung wurden 25 cm Spritzbeton aufgetragen, mit zusätzlicher Verstärkung mittels Selbstbohrankern; die Ortsbrust wurde mit einem Auftrag von 5 cm Spritzbeton und Ortsbrustanker gesichert. In der Firste kamen Spieße zum Einsatz. Als Gegenmaßnahme zu den nur langsam abklingenden, plastischen Verformungen wurden Verformungsschlitzte mit Stauchelementen eingebaut, die einen nachgiebigen Ausbau gewährleisten.

Das anfänglich gemessene Verformungsverhalten wies mit 54 mm/Tag hohe Verformungen im Firstbereich aus. Die Folgemessung, mit Verformungen von 15 mm/Tag, einen Tag später ließ eine leichte Stabilisierung der Verhältnisse erwarten. Bei den Messungen der folgenden vier Tage trat aber ein vortriebsbezogenes, lineares Setzungsverhalten von 21 mm/Tag ein, mit nachfolgend sich abschwächender Tendenz. Mit Erreichen einer Gesamtverschiebung von 122 mm reduzieren sich die Setzungen auf 1 mm/Tag und erreichen über einen Zeitraum von etwa zwei Monaten eine Endkonvergenz von 135 mm.



Bild 3: Ortsbrustaufnahme Station 1.231 mit Stauchelementen in der Ausbausicherung.

Durch Anpassung der Stützmittel und Einbau der Stauchelemente konnte eine Überbeanspruchung der Spritzbetonschale vermieden und das langanhaltende, teils kriechend prognostizierte Verschiebungsverhalten des Gebirges sicher beherrscht werden.

6 Lösungskonzepte zur Bewältigung der druckhaften Gebirgsverhältnisse beim kontinuierlichen Vortrieb

6.1 Grundsätzliche Problematik

Bei einem kontinuierlichen Vortrieb mit einer TBM-S oder einer TBM-DS erfolgt der Vortrieb in gebirgsmechanischer Sicht, aufgrund des vollflächigen und kreisförmigen Ausbruches mit schnellem Ringschluss, grundsätzlich gebirgsschonend. Ist ein neuer Vortrieb herausgefahren, wird ein relativ starr wirkender Tübbingring eingebaut. Die freie Standzeit des Gebirges bis zum Einbau des Tübbingringes und der Ringspaltverfüllung lässt Gebirgsdeformationen lediglich in begrenztem Maße zu, wobei sich der nutzbare Deformationsraum für das Gebirge aus dem Überschnitt der TVM und der Konizität des Schildmantels zusammensetzt. Wird der nutzbare Ringraum durch plastische Verformungen aufgezehrt, muss die Tübbingauskleidung den verbliebenen Gebirgsdruck aufnehmen.

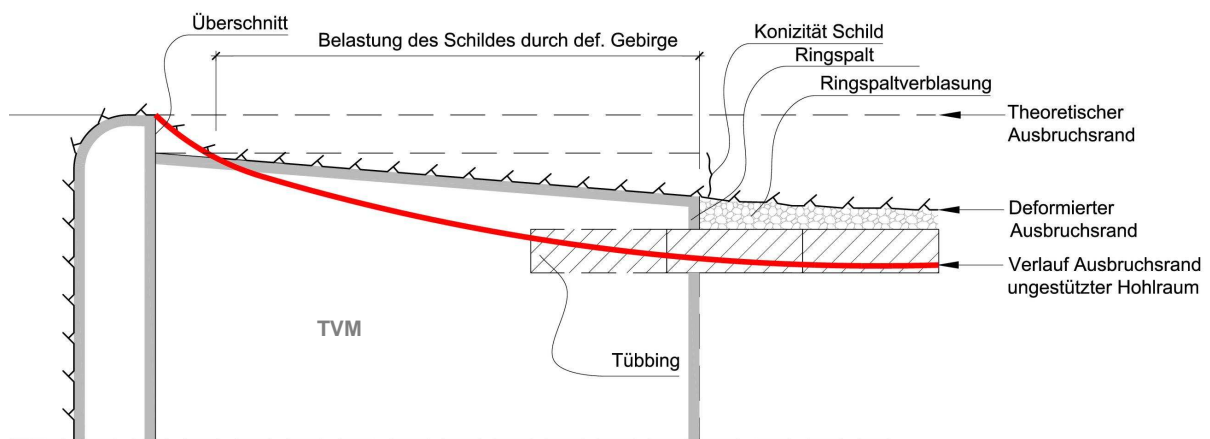


Bild 4: Schema TBM mit Deformationsverlauf Geologie.

Die Bewältigung der druckhaften Gebirgsverhältnisse am Koralmtunnel sieht für die Streckenabschnitte, die im kontinuierlichen Vortrieb aufgeföhren werden, einen stufenweisen Maßnahmenkatalog vor, der sich neben den in Kapitel 3 beschriebenen Regelmaßnahmen aus den nachfolgend definierten Vorauserkundungs-, Zusatz- und Sondermaßnahmen zusammensetzt.

6.2 Vorauserkundungsmaßnahmen

Das Einfahren in eine unerkundete Störung kann kostenintensive Vortriebsstillstände nach sich ziehen. Der kontinuierliche Vortrieb erfolgt beim Koralmtunnel deshalb grundsätzlich nur in vorauserkundetem Gebirge. Geologisch und bautechnisch kritische Gebirgsbereiche können über die Prognose hinausgehend somit rechtzeitig erkannt werden.

Zum Erzielen einer ausreichend hohen Erkundungsgenauigkeit werden verschiedene Vorauserkundungsmethoden miteinander kombiniert, die der nachfolgenden Übersicht zu entnehmen sind.

Erkundungsziel	Erkundungsmethode
Störungen Typ A und B	Schlagbohrung (Bohrwiderstand), Seismik, ggfs. Kernbohrung (Bohrkern)
Störungen Typ C bis E Bergwasser	Seismik, Kernbohrung (Bohrkern), Bohrlochscanner, Schlagbohrung (Offenes Bohrloch), Hydraulische Bohrlochversuche, Fluidloggings, Flowmeter
Lithologie	Kernbohrung (Bohrkern)
Gebirgsstruktur Gesteinseigenschaften	Seismik, Kernbohrung (Bohrkern), Bohrlochscanner, Laborversuche

Ziel der Vorauserkundungen ist es

- Lage und Aufbau der Störungszonen, insbesondere der bautechnisch relevanten Störungszonen vom Typ A und B,
- feinkörnige Kataklastitbänder mit Mächtigkeiten > 1,0 m (für alle Störungstypen) und
- starke Bergwasserzutritte

zu erkunden, um ggf. erforderliche Zusatz- und/oder Sondermaßnahmen frühzeitig einleiten zu können.

Als erste Stufe des Erkundungskonzepts kommen geophysikalische (seismische) Messungen zum Einsatz. Auf den ersten ca. fünf Kilometern Vortrieb werden die Ergebnisse der

Seismik mit den Aufschlüssen aus den parallel durchgeführten Vorausbohrungen verglichen. Wird eine ausreichende Übereinstimmung erzielt, werden Kern- oder Schlagbohrungen nur noch bei durch die Seismik aufgezeigten Unregelmäßigkeiten eingesetzt.

Wird das definierte Ziel nicht erreicht, wird auf die nachgeschaltete Stufe zurückgegriffen. Die Vorauserkundung erfolgt dann vortriebsbegleitend mittels überlappender (<10m) Schlag- und Kernbohrungen von 80 bis 100 m Länge.

6.3 Vortriebsannäherung an druckhafte Bereiche

Wurde mittels Vorauserkundung (Seismik, Schlagbohrungen) eine bautechnisch relevante Störung erkannt, erfolgt in ausreichendem Sicherheitsabstand (min. 30 m) zur Störung und in standfester Geologie ein planmäßiger Stopp der Maschine. Durch eine Kernbohrung wird die Störung aufgeschlossen und auf Basis der Erkenntnisse über die Ausführung von Zusatz- und/oder Sondermaßnahmen entschieden.

Vor Einfahrt in die Störung bietet der Halt zudem die Möglichkeit für allfällige präventive Wartungsarbeiten an der Tunnelvortriebsanlage.

- Revision des Bohrkopfes und Auswechslung des verschlissenen Werkzeugbesatzes.
- Kontrolle und Kalibrierung der Bandwaagen zur sofortigen Erkennung von Mehrausbrüchen
- Vorhalten der benötigten Schmiermittel auf der TVM für eine eventuelle Schildmantelschmierung (vorgezogene Tests) zur Reibungsreduktion

Unplanmäßige Vortriebsunterbrechungen innerhalb der Störzone sollen auf diese Weise vermieden werden.

Weiter werden Warn- und Alarmwerte für die einzelnen Maschinenparameter für den Vortrieb in Störungen festgelegt, um frühzeitig abgestimmte Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

6.4 Zusatz- und Sondermaßnahmen zur Beherrschung von druckhaften Gebirgsverhältnisse

Zur Unterstützung der Regelmaßnahmen, die prinzipiell durch das in Kapitel 3 dargestellte Grundkonzept abgedeckt sind, und damit zur Überwindung von lokalem Auflockerungs- oder erhöhtem Gebirgsdruck sowie zur Vermeidung von Vortriebsunterbrechungen sind für den kontinuierlichen Vortrieb beim Koralmtunnel nach Erfordernis folgende Zusatzmaßnahmen geplant:

- Vorausbohrungen und Vorausentwässerungen
- Außerordentliche Ertüchtigung des Vortriebssystems vor Störungszonen zur Verhinderung unplanmäßiger Vortriebsstillstände in diesen Zonen (Meißelwechsel, etc.)
- Zusätzlicher Bohrkopfüberschnitt
- Schildmantelschmierung z.B. mit Bentonit
- Bohrkopfschmierung als Maßnahme gegen Verklebungserscheinungen (Konditionierung)
- Silikat-Schaum-Injektionen im Bereich des Bohrkopfes bei aufgelockertem Gebirge oder zum Verfüllen kleinerer Niederbrüche und
- Injektions-Bohrschirme.

Sondermaßnahmen sind zusätzliche bautechnische Maßnahmen, die der Verbesserung des geomechanischen Verhaltens des Gebirges oder der Sicherstellung der Stand- und Tragfähigkeit dienen. Die Anordnung und Ausführung erfolgt nach geotechnischer Erfordernis.

Folgende Sondermaßnahmen sind für die kontinuierlichen Vortriebe geplant:

- Bohrlochinjektionen in Verwitterungszonen (nachträgliche Hochdruckinjektionen mit Packer bis 15 bar, entsprechend den Feststellungen während des Vortriebes),
- systematische Kunstharzinjektion mit hohem Druck im Bereich von injizierbaren Zerrüttungszonen und stärker zerlegten Gebirgsbereichen,
- Stahlbogeneinbau und/oder Nachankerung der Tübbings bis zum Einbau des Innengewölbes.

Sollte der Tübbingausbau in druckhaften Bereichen dennoch überbeansprucht werden, wird die Innenschale im betroffenen Bereich zur Erzielung der normgemäßen Gesamtsicherheit bewehrt. Sollte diese Maßnahme ebenso nicht ausreichen, wird der Tübbingausbau abgebrochen und es wird nach Abklingen der Verformungen eine konventionelle Auskleidung in der erforderlichen Stärke hergestellt.

Die zum Einsatz kommenden Maßnahmen werden während der Bauausführung im Rahmen des Sicherheitsmanagements weiter aufbereitet und analysiert, um einen für den Vortrieb händelbaren Entscheidungskatalog mit Darstellung der Entscheidungskriterien, unter Berücksichtigung der zeitlichen und baubetrieblichen Einflussfaktoren, zu erhalten.

6.5 Durchfahren druckhafter Bereiche

Zum Auffahren druckhafter Bereiche werden die konzeptionellen Möglichkeiten der TVM ausgeschöpft. Durch den Überschnitt und die gewählte Konizität wird dem Gebirge mehr Freiraum für Konvergenzen gegeben. Der Einsatz von über den Schildmantel injizierten Schmiermitteln soll die Reibung reduzieren.

Die Durchörterung von Störungen erfolgt unter detaillierter Kontrolle und Analyse der Maschinendaten im Sinne eines Prozesscontrollings. Herauszuheben sind hier die Ausbruchmassenkontrolle, die Mörtelverpressdrücke, der Anpressdruck des Bohrkopfes an die Ortsbrust, die Stromaufnahme und das Kippmoment des Bohrkopfes.

Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass die in druckhaften Bereichen auftretenden Verformungen bereits im Bereich des Schildes den verfügbaren Verformungsraum deutlich übersteigen. Für die TVM bedeutet dies die Überwindung des sich über den Schildumfang aufbauenden Reibungswiderstandes. Dieser ist abhängig von der Schildlänge, der TVM-Konfiguration (Überschnitt, Konizität) und des zeitlichen Deformationsverhaltens des Gebirges.

In parametrisch durchgeführten Untersuchungen unter Variation der TVM-Konfiguration und der Schildlänge wurden anhand von Gebirgskennlinien die prognostizierten Kennwertkombinationen im Hinblick auf die (ungünstige) Annahme ausgewertet, dass bei Austritt der Tübbinge aus dem Schildschwanz der theoretisch zur Verfügung stehende Deformationsraum bereits aufgebraucht wurde und das Gebirge sowohl an TVM und Tübbing aufliegt (s. Bild 4).

Für Störungen wurden mit Hilfe von rotationssymmetrischen numerischen Vortriebssimulationen der ungünstige Einfluss aus dem heterogenen Aufbau der prognostizierten Störungstypen sowie von unterschiedlich mächtigen Kataklastitlagen ermittelt.

Auf Basis dieser Ergebnisse sowie unter Würdigung einer verträglichen Anordnung leistungsstarker Vortriebspresen auf die Tübbinge ergaben sich folgende Eckdaten für die ganzheitliche Auslegung des Vortriebs- und Ausbausystems, welche die derzeit technisch machbaren Möglichkeiten voll ausschöpfen:

- Vorschubkraft TVM: 150 MN ¹
- Deformationsraum TVM: 20 cm ²
- Belastung des Tübbingausbaus (radial) außerhalb von Störungen 850 kPa
- Belastung des Tübbingausbaus (radial) in Störungen 2000 kPa ³

6.6 Bewältigung des Szenarios „Verklemmen TVM“

Stellen sich Gebirgsdrücke bzw. Konvergenzen ein, die zum Verklemmen des Schildes führen, sind die zuletzt gebauten Ringe zu sichern. Den Rückstellkräften der Dichtungsprofile in Abschnitten mit Einbau gedichteter Tübbinge muss entgegengewirkt werden. Dies geschieht durch Verankerungen oder zusätzliche Mörtelverpressungen.

In einem ersten Schritt werden die Leistungsreserven der Maschine beansprucht. Die maximalen Pressenkräfte und das maximale Drehmoment der Maschine sollen die TVM befreien.

Führt ein solcher Versuch nicht zum Ziel, ist der Schild händisch zu überfirsten.

Als weitere Rückfallebene ist die Auffahrung eines Umgehungsstollens im zyklischen Vortrieb geplant, um die verklemmte TVM zu befreien.

¹ Festgelegter Wert. Theoretisch erforderliche Vorschubkräfte > 150 MN wurden mit dem Verklemmen der TVM gleichgesetzt.

² Deformationsraum = Nenndurchmesser D_N – Außendurchmesser Tübbingring.

³ Bei Ansatz von ungünstigen Kennwertkombinationen („worst-case“) können in Störungsbereichen Lasten auf die Auskleidung >> 1500 kPa nicht ausgeschlossen werden. Als Ergebnis einer ganzheitlichen Betrachtung von Gebirge, Vortrieb (machbare Geometrie bzw. Leistungsdaten der TVM) und Auskleidung wurde ein Ausbauwiderstand von 2000 kPa als Grenzkriterium abgeleitet.

7 Schlussfolgerungen

Die für die kontinuierlichen Vortriebe des Koralmtunnels bestehenden geologischen Randbedingungen stellen neue Herausforderungen im Hinblick auf ein ganzheitliches Vortriebskonzept mit einer TVM mit Schild und Tübbingausbau dar.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Konzepte zeigen, dass zur Bewältigung der erwarteten druckhaften Gebirgsverhältnisse sorgfältige Planungen erforderlich sind. Dies betrifft einerseits die Herausarbeitung der geomechanischen Grundlagen für eine fundierte Bewertung der Durchörterung und statische Lösungen für einen sinnvollen Widerstand des Tübbingausbaus sowie andererseits die Entwicklung von schlüssigen Konzepten für einen sicheren Vortrieb, wie für die stufenweise Vorauserkundung und für Ausführungsmöglichkeiten von Zusatz- und Sondermaßnahmen.

Darüber hinaus sind für eine reibungslose technische und bauvertragliche Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen konkrete und detaillierte Vorgaben und Mindestanforderungen für die Konstruktion und Ausstattung der TVM, der Tübbingproduktion und der Bauverfahrenstechniken unerlässlich.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Harer, G., Riedmüller, G.: Assessment of Ground Condition for the Koralm Tunnel during the Early Stages of Planning. Felsbau 1999, Nr. 5, 374-380.
- [2] Harer, G., Mussger, K., Hochgatterer, B., Bopp, R.: Considerations for Development of the Typical Cross Section for the Koralm Tunnel. Geomechanik und Tunnelbau 2008, Nr. 4, 257-263.
- [3] Handke, D., Fabbri, D.: Konzeptionelle Überlegungen zu den maschinellen Vortrieben beim Koralmtunnel. Vortrag zur Südbahntagung TU Graz 2008, Graz.
- [4] Handke, D., Maidl, B.: Bauverfahrenstechnische Prozessabhängigkeiten als Steuerungselemente zur Risikominimierung bei der Realisierung von Schildprojekten - Vorstellung einer Risikostrategie auf der Basis baupraktischer Erfahrungen. Taschenbuch für den Tunnelbau 2006. Essen: Glückauf 2006, 189-220.
- [5] Maidl, B., Schmid, L., Ritz, W., Herrenknecht, M.: Tunnelbohrmaschinen im Hartgestein. Berlin: Ernst & Sohn 2001.
- [6] Ferrari, A., Fabbri, D., Sidler, M.: Bewältigung von unerwarteten Störzonen beim TBM-Vortrieb im Gotthard-Basistunnel Baulos Bodio. BBT 2007 – Internationales

Symposium Brenner Basistunnel und Zulaufstrecken Leopold-Franzens-Universität,
Innsbruck, 69-78.

- [7] Ramoni, M., Anagnostou, G.: The effect of advance rate on shield loading in squeezing rock: ITA World Tunnel Congress 2007, Vol. 2, 673-679.
- [8] Ramoni, M., Anagnostou, G.: TBM drives in squeezing ground – Shield-rock interaction. AFTES International Congress Monaco 2008.
- [9] Lombardi, G., Panciera, A.: Problems with TBM and linings in squeezing ground. Tunnels & Tunnelling International, Juni 1997, 54-56.
- [10] Geoconsult / 3G / BGG: Vortriebsdokumentation Erkundungstunnel Paierdorf Ost, Mai 2008.