

5

Der Koralmtunnel – eine logistische Herausforderung

DI (FH) Günther Klinger (Wien), M.Eng. Steffen Zanner (Wien)

Für die Realisierung der Festen Fahrbahn und der bahntechnischen Ausstattung im 33 km langen Koralmtunnel bestand die logistische Herausforderung darin einerseits im Zuge der Errichtung der Festen Fahrbahn großen Materialmengen in kurzer Zeit in den Tunnel einzufahren und andererseits im Zuge der bahntechnischen Ausstattung viele unterschiedliche Komponenten zeitgleich an unterschiedlichen Einbaustellen im Tunnel zu verteilen. Unter Verwendung maßgeschneiderter Geräte- und Softwaresysteme konnten diese logistischen Herausforderungen beherrscht werden und somit ein wichtiger Teil zur Fertigstellung des Jahrhundertprojektes Koralmtunnel beigetragen werden.

5.1 Einleitung

Der Koralmtunnel mit einer Länge von rund 33 km ist das zentrale Bauwerk der neuen 127 km langen Hochleistungsstrecke zwischen Graz und Klagenfurt. Für die Realisierung der Tunnelausrüstung wurden 2 Arbeitsgemeinschaften (ARGE), jeweils mit Porr Bau GmbH als ARGE-Partner, beauftragt:

- I Die ARGE Feste Fahrbahn Koralmtunnel für die Errichtung der Festen Fahrbahn und der Randwege und Bankette im Tunnel, sowie bauliche Maßnahmen im Bereich der beiden Tunnelportale.
- I Die ARGE Bahntechnische Ausstattung Koralm für die bahntechnische Ausrüstung inklusive Energieversorgung, Telekommunikation, Sicherungsanlagen und maschineller Einrichtungen.

Die Versorgung des Koralmtunnel musste schienengebunden erfolgen. Somit stellte die Erarbeitung und Umsetzung eines schienengebundenen Logistikkonzepts für die beiden Bauaufträge, unter Berücksichtigung der großen Materialmengen, der beengten Platzverhältnisse im Tunnel, der sicherheitsrelevanten Aspekte und der langen Bauzeit von rund 5 Jahren, ein kritischer Erfolgsfaktor dar.

Die schienengebundene Andienung des Tunnels hatte über die beiden Baustelleneinrichtungsflächen „BE Ost“ in Wettmannstätten (Steiermark) und „BE West“ in Mitterpichling (Kärnten) zu erfolgen, wobei 85 % der Material- und Gerätetransporte von der Baustelleneinrichtungsfläche „BE Ost“ in Wettmannstätten abgewickelt wurden. Diese waren rund 10 km vom östlichen Tunnelportal entfernt.



Abbildung 1 Luftbildaufnahme BE Ost mit einer Fläche von 25.000 m²

5.2 Logistik für die Errichtung der Festen Fahrbahn und Randwege

5.2.1 Leistungsumfang und logistische Rahmenbedingungen

Die ARGE Feste Fahrbahn Koralmtunnel war von Mai 2021 bis Juli 2023 mit der Errichtung von ca. 66 km Fester Fahrbahn sowie zugehörige Randwege / Bankette im Tunnel tätig.

Um einen Eindruck zu vermitteln, welche Materialmengen hierzu in den Tunnel transportiert werden mussten, nachfolgenden einige Kennzahlen:

- I ca. 132 km Schienen UIC 60 (60E1) (Gesamtgewicht 8.000 t)
- I ca. 12.700 Gleistragplatten (GTP) a 5 t (Gesamtgewicht 65.500 t)
- I ca. 40.000 m³ Vergussbeton (Gesamtgewicht 96.000 t)
- I ca. 140.000 m³ Beton für Randweg / Bankett (Gesamtgewicht 336.000 t)
- I ca. 1.000 km Kabelschutzrohre, die in den Randwegen verbaut wurden

5.2.2 Baulogistische Herausforderungen für die Feste Fahrbahn

Aus logistischer Sicht bedeutete dies hohe Massenströme an GTPs, Schienen, Einbauteilen und insbesondere Beton, die über die beiden Portale in die beiden Tunnelröhren eingebracht werden mussten. Beispielsweise waren an einem Arbeitstag 500 m³ Frischbeton in den Tunnel einzubringen. Dafür waren 20 Betontransportwaggons mit einem Fassungsvermögen von je 15 m³ sowie 6 schienengebundene Zugfahrzeuge auf der Baustelle notwendig, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Um die hohe Anzahl der täglich erforderlichen Zugfahrten umzusetzen, waren exakte Abstimmungen der täglich benötigten Transporte und der Transportreihenfolge erforderlich.

Die logistischen Herausforderungen dieses Projekts waren vielschichtig und erforderten ein hohes Maß an Planung, Koordination und Anpassungsfähigkeit. Eine zentrale Herausforderung stellte die hohe Komplexität der Abläufe dar, da zahlreiche beteiligte Gewerke mit unterschiedlichen Arbeitsweisen eingebunden waren. Zudem bestanden enge Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Einbauprozessen, wie etwa der Betonage, der Verlegung der GTP sowie der Herstellung der Randwege und Bankette. Diese Rahmenbedingungen machten eine präzise abgestimmte zeitliche und räumliche Planung erforderlich, um gegenseitige Behinderungen zu vermeiden und einen kontinuierlichen Baufortschritt sicherzustellen.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt betraf die Sicherheit und das Risikomanagement. Die Arbeiten fanden im Tunnel statt und waren daher in besonderem Maße arbeitssicherheitsrelevant. Sämtliche Transporte und Bauaktivitäten mussten konsequent mit den geltenden Rettungskonzepten, definierten Fluchtwegen sowie festgelegten Sperrbereichen koordiniert werden, um die Sicherheit aller Beteiligten jederzeit gewährleisten zu können.

Darüber hinaus stellten technologische Neuerungen eine zusätzliche Herausforderung dar. Im Rahmen des Projekts wurden neue Maschinen und digitale Systeme eingeführt, deren erfolgreiche Anwendung nicht nur eine technische Implementierung, sondern auch ein wirksames Change Management erforderte. Die beteiligten Teams mussten im Umgang mit den neuen Technologien geschult werden und diese in ihre bestehenden Arbeitsprozesse integrieren, was eine gezielte Begleitung und Akzeptanzförderung notwendig machte.

5.2.3 Digitale Integration der Logistik für die Feste Fahrbahn

Die Logistik der Festen Fahrbahn war in ein übergreifendes Konzept „Effiziente Prozesse durch digitale Integration“ eingebettet. Dieses Modell umfasst die Phasen Planung & Vorbereitung, Baustellenlogistik, Einbau & Montage sowie Entsorgungslogistik.

Für die Feste Fahrbahn lassen sich logistische Themen hervorheben, die zur erfolgreichen Projektabwicklung entscheidend waren. Diese sind in den nachstehenden beiden Kapiteln angeführt und erläutert.

5.2.3.1 Mission Control / Leitstand

Mit Mission Control / Leitstand ist die Einrichtung einer zentralen Leitstelle zur digitalen Steuerung sowie zur kontinuierlichen Überwachung der Logistik- und Sicherheitsprozesse auf der Baustelle in Echtzeit gemeint. In diesem Leitstand erfolgte die Visualisierung und Überwachung der Gleisanlagen, der Fahrwege von Baustellenzüge sowie der aktuellen Fahrzeugpositionen. Durch die systematische Erfassung und Auswertung der Logistikdaten in Echtzeit konnten Material- und Personentransporte effizient aufeinander abgestimmt werden. Gleichzeitig trug die verbesserte Übersicht über alle Bewegungen im Baustellenbereich sowie die eindeutige Zuweisung von Fahrwegen maßgeblich zur Erhöhung der Arbeitssicherheit bei.

5.2.3.2 Innovative Fahrzeuge und Geräte

Um die terminlichen und technischen Anforderungen des Projektes zu erfüllen, wurden so weit als möglich am Markt verfügbare schienengebundene Geräte, wie Zweiwege-Traktionsfahrzeuge, Lokomotiven, Betonzüge, außenluftunabhängige Rettungszüge oder Kräne auf Flachwagen eingesetzt. Jedoch war es auch notwendig maßgeschneiderte Maschinenlösungen für die Baustelle zu entwickeln. Dabei wurde ein Portalkran mit Dualfahrwerk, welcher 3 Stück Gleistragplatten mit einem Hub manipulieren konnte entwickelt. Auch eine ferngesteuerte, schleppbare, schienengebundene Selbstfahreinheiten für sehr langsame Arbeitsgeschwindigkeiten bei hoher Zugkraft wurde realisiert, sowie eine schienengebundene Reinigungseinheit für die Tunneltrockenreinigung.



Abbildung 2 Reinigungszug für Tunneltrockenreinigung

Zusammenfassend war die Logistik der Festen Fahrbahn als digital gesteuertes, hochgradig koordiniertes System organisiert, bei dem Materialflüsse, Sicherheit und Bauablauf eng miteinander verzahnt waren. Unter Einsatz von altbewährten und neu entwickelten Geräten konnte dies umgesetzt werden.

5.3 Logistik für die bahntechnische Ausstattung

Die Logistik stellte auch für die bahntechnischen Ausstattung ein zentrales Schlüsselement für die termingerechte und qualitätsgerechte Ausführung der beauftragten Leistungen dar. Die ARGE Bahntechnische Ausstattung Koralalm war im Zeitraum vom Mai 2023 bis November 2025 operativ im Koralmtunnel tätig.

Die zu erbringenden Leistungen sind nachstehend zusammengefasst:

- I BIM- und Planungsleistungen
- I Kabelbauleistungen (110 kV, Mittel- und Niederspannung, 50 Hz-Kabel – zusammen rund 1.200 km)
- I Montage von Strahlerkabel (ca. 264 km)
- I Verlegen von Lichtwellenleiter (LWL)
- I Energietechnik in 69 Querschlügen und der Nothaltestelle
- I Telekommunikations- und Sicherungstechnik
- I Maschinelle Anlagen (u. a. Lüftung, Klimatisierung, Hochdruckwassernebelanlagen, Löschwassersysteme)
- I Kernbohrungen, Doppelbodensysteme, Türen und weitere bauliche Ausstattungselemente

Die unterschiedlichen Gewerke arbeiteten zeitgleich über den gesamten, 33 km langen Tunnel verteilt. Ein besonderer logistischer Schwerpunkt war die Ausstattung der Tunnelquerschlüge sowie der Nothaltestelle. Die logistische Herausforderung bestand dabei weniger in großen Massenströmen einzelner Materialien, sondern in der hohen Anzahl unter-

schiedlicher Bauteile und Kabel sowie der engen Verzahnung zahlreicher Gewerke auf begrenztem Raum. Hinzu kamen nacheinander und voneinander abhängige getaktete Abläufe, die eine präzise Planung, Abstimmung und Steuerung der Logistikprozesse erforderlich machten.

5.3.1 Logistik in den Querschlägen und Technikräumen

Insgesamt wurden über 130 Bauteile je Querschlag und mehr als 8.500 Bauteile im gesamten Tunnelbauwerk installiert. Um diese Komponenten strukturiert, sicher und nachvollziehbar in den Tunnel einbringen zu können, wurde ein mehrstufiges Logistikkonzept entwickelt, das auf den vier Säulen Lagerplatzverwaltung, Digital LEAN, Analyse und Visualisierung und Transportwesen basierte.

5.3.1.1 Lagerplatzverwaltung

Aufgrund der äußerst begrenzten Lagerflächen sowohl am Tunnelportal als auch im Tunnel selbst wurde frühzeitig die Notwendigkeit einer systematischen Lagerplatzverwaltung identifiziert. Die zeitgleiche Versorgung der unterschiedlichen Gewerke im Tunnel erforderte eine klare, digitale Abbildung der erforderlichen Materialflüsse. Hierzu wurden auf Basis der Microsoft-PowerApps-Technologie eigene Applikationen entwickelt, mit denen der gesamte Baustellenlebenszyklus der Bauteile, von der Anlieferung bis zur Installation, abgebildet wurde. Die Prozesskette ist nachstehend erläutert.

Die Prozesskette setzt sich aus dem Eingang, Einlagern, Kommissionieren, Transport und Auslagern zusammen. In Abbildung 3 ist die Oberfläche der Lagerverwaltungsapp dargestellt. Der Lagerist erfasste dabei ankommende Elemente mittels QR-Code und ordnete sie digital einem konkreten Lagerplatz zu. Die Logistiker*Innen planten in einer separaten App die erforderlichen Lieferungen in den Tunnel. Der Lagerist arbeitete anhand eines täglichen, digital bereitgestellten Beladeplans die Verladung ab. Die Zugführer*Innen buchten die transportierten Elemente an den jeweiligen Einbauorten im Tunnel wieder aus.

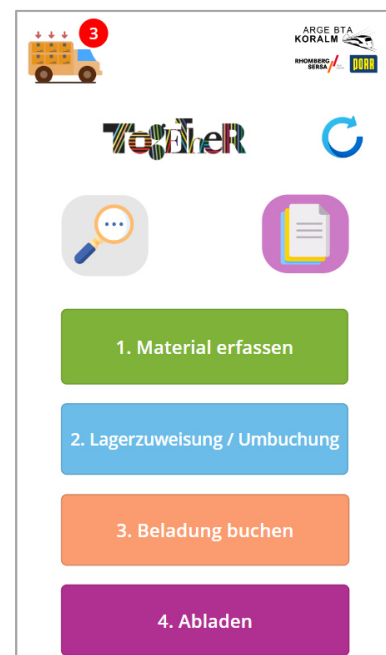


Abbildung 3 Oberfläche der Lagerverwaltungsapp für den Lagerist

Für die Baustelle ergaben sich daraus organisatorische und logistische Maßnahmen. Materialien, wie Kabel, Schaltschränke, Ventilatoren, Rohrleitungen, Armaturen sowie Doppelbodenelemente wurden vorgelagert, eindeutig gekennzeichnet und den jeweiligen Lagerplätzen digital zugeordnet. Die Kommissionierung für einzelne Querschläge und Technik-

räume erfolgte digital unterstützt, sodass die jeweils benötigten Komponenten termingerecht und bedarfsgerecht zur Verfügung standen. Die Transporte in den Tunnel wurden sowohl inhaltlich als auch zeitlich mit der „Mission Control“ (Leitstand) sowie mit den Wochenprogrammen der Digital-LEAN-Struktur abgestimmt und dadurch systematisch in den Gesamtbauablauf integriert.

Diese strukturierte Lagerplatzverwaltung ermöglichte eine hohe Transparenz über den Materialbestand, reduzierte Such- und Wartezeiten und trug entscheidend zur Verringerung von Fehlanlieferungen bei.

5.3.1.2 Digital LEAN

Die Koordination der einzelnen Gewerke und die Abstimmung mit dem Auftraggeber waren ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung des Projektes. Hierzu wurde eine an die Projektanforderungen angepasste LEAN-Methodik in Kombination mit eigens entwickelter Software eingesetzt.

Mit dieser Software konnten die einzelnen Gewerke ihre geplanten Leistungen im Tunnel eigenständig anmelden, den Abruf der für sie eingelagerten Einbauelemente auslösen und Einbauorte und -zeiten transparent darstellen. Auf Basis einer visuellen Darstellung wurden mögliche Überschneidungen frühzeitig identifiziert, Abläufe optimiert und die Reihenfolge der Tätigkeiten abgestimmt.

5.3.1.3 Analyse und Visualisierung

Zur datenbasierten Steuerung der Logistik und des Bauablauf wurde auf Basis der in der Lagerplatzverwaltung und dem digitalen Leitstand erzeugten Prozessdaten eine Auswertung aufgebaut. Ziel war es, jederzeit belastbare Aussagen über Lagerstände, Engpässe und Logistikkennzahlen ableiten zu können.

Hierzu wurden Power BI-Dashboards entwickelt, die zentrale Kennzahlen transparent und rollenspezifisch bereitstellten. Logistikkennzahlen wie Zugfahrdaten oder Lagerdatenanalysen wie Bestände, Umschlag, Artikelnachverfolgungen wurden beispielsweise dargestellt.

Durch die Verknüpfung von Materialstatus (Lagerplatzverwaltung) und Echtzeit-Umsetzung (Leitstand) entstand ein konsistentes Lagebild. In Kombination mit der Planung (Digital LEAN) konnten Abweichungen frühzeitig sichtbar gemacht werden, Priorisierungen unterstützt und die Stabilität der Bauabwicklung durch fundierte Entscheidungen deutlich erhöht werden.

Der digitale Leitstand fungierte damit auch als zentrale Steuerungs- und Überwachungsinstanz für sämtliche logistischen Bewegungen im Tunnel und bildete die Schnittstelle zwischen Planung (Digital LEAN), Lagerplatzverwaltung und tatsächlicher Ausführung.

5.3.1.4 Transportwesen

Das Transportwesen stellte die operative Umsetzung der im LEAN-Prozess und im Leitstand geplanten Abläufe sicher. Die Transporte – sowohl für Personal als auch für Material – wurden in fest definierten Zeitfenstern und nach einem abgestimmten Fahrplan durchgeführt.

Die wesentlichen Elemente des Transportkonzeptes umfassten den Einsatz klar definierter Zug- und Transportkapazitäten für unterschiedliche Materialarten (wie bspw. Kabeltrommeln, Schaltschränke oder sperrige Anlagenteile) wobei hierfür eigens konzipierte Waggonaufbauten und entsprechende Erweiterungen verwendet wurden. Darüber hinaus erfolgte eine gezielte Bündelung der Lieferungen nach Querschlag, Bauabschnitt und Gewerk. Die Transportfahrten wurden eng mit den geplanten Montage- und Installationsarbeiten abgestimmt. Zugleich wurden die geltenden Sicherheitsanforderungen konsequent berücksichtigt, insbesondere im Hinblick auf die Freihaltung und Nutzbarkeit von Flucht- und Rettungswegen.

Durch die Kombination aus digitaler Lagerplatzverwaltung, LEAN-basierter Ablaufplanung, digitalem Leitstand und einem strukturierten Transportwesen konnte ein durchgängiger, transparenter und effizient steuerbarer Logistikprozess geschaffen werden, der maßgeblich zur erfolgreichen Umsetzung der bahntechnischen Ausstattung beitrug.

5.4 Schlussbemerkung

Die Logistik für die Errichtung der Feste Fahrbahn Koralalm und Bahntechnische Ausstattung im Koralmtunnel zeichnete sich durch die folglich drei genannten zentralen Merkmale aus:

- I Die ganzheitliche Betrachtung der Logistik: Die Logistik wurde nicht nur als Transport, sondern als integraler Bestandteil des Projektmanagements verstanden.
- I Der hohe Digitalisierungsgrad: Mit Mission Control, Digital Lean, Lagerplatzverwaltung und Data-Intelligence-Anwendungen wurde der Material- und Informationsfluss durchgehend digital erfasst. Dies schaffte Transparenz und bildete die Grundlage für vorausschauende Entscheidungen.
- I Die projektweite Standardisierung bei gleichzeitiger Spezialisierung: Die gleichen digitalen und organisatorischen Prinzipien galten für beide Bauaufträge, wurden aber jeweils auf die spezifischen Anforderungen der Festen Fahrbahn (massive, gleichförmige Materialflüsse) und der Bahntechnik (hohe Teilevielfalt, komplexe Einbausituationen) angepasst.