

3

Feste Fahrbahn und Masse-Feder-Systeme – Konzeption, Systemwahl und Planung

Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter Pichler (Wien), Dipl.-Ing. Roland Fischer (Wien)

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Konzeption und den Planungsleistungen zur Ausrüstung des Koralmtunnels mit einer Festen Fahrbahn, bereichsweise kombiniert mit Sekundärschall- und Erschütterungsschutzmaßnahmen. Es wird auf die Entwicklung der einzelnen Elemente eingegangen und es werden Entscheidungskriterien für die Systemwahl dargelegt. Die Ausschreibung, die Einbaulogistik und die Ausführungsplanung zusammen mit der Qualitätssicherung werden vorgestellt.

3.1 Einleitung

Die Koralmbahn wurde um die Jahrtausendwende als Hochleistungsstrecke zwischen Graz und Klagenfurt konzipiert, auch wenn erste Überlegungen zu einer neuen direkten Eisenbahnverbindung zwischen Graz und Klagenfurt bereits kurz nach Ende des ersten Weltkriegs als Ersatz für die sogenannte Kärntner Bahn (der Abschnitt dieser Bahnlinie zwischen Marburg und Bleiburg war ja nunmehr auf fremdem Staatsgebiet) aufkamen. Kernstück der Koralmbahn ist der Koralmtunnel, wobei einige weitere Tunnelabschnitte den Streckenverlauf kennzeichnen. Entsprechend der in den 1990-iger Jahren entwickelten Oberbaustrategie für das Streckennetz der ÖBB sind für Tunnel ab 500 m Länge Feste Fahrbahnen vorzusehen. Bereits Anfang 2007 wurden daher erste Überlegungen zur Festen Fahrbahn im Koralmtunnel mit den Fachplanern aller betroffenen Gewerke angestellt. Das Ergebnis war, dass die Systembreite der Festen Fahrbahn kleiner als 2,40 m sein soll.

3.2 Konzeption der Festen Fahrbahn

Die Oberbaustrategie der ÖBB hinsichtlich des Einsatzes von Festen Fahrbahnen zusammen mit den spezifischen Festlegungen des Tunnelquerschnitts, des Tunnelentwässerungssystems, des Tunnelsicherheitskonzepts bildeten die wesentlichen Grundlagen für die Konzeption der Festen Fahrbahn im Koralmtunnel. Die Möglichkeiten Höhen und Seitentoleranzen (z.B. aufgrund von Fehllagen der Tunnelröhren) auszugleichen, stellten ein wesentliches Kriterium für die Wahl des Festen Fahrbahnsystems dar. Als weiterer Aspekt wurde auch die Anwendbarkeit des Festen Fahrbahnsystems in den sonstigen Abschnitten der Koralmbahn berücksichtigt und auch die Grundsatzfestlegungen der ÖBB für das gesamte Streckennetz beachtet.

3.2.1 Oberbaustrategie

Die Oberbaustrategie der ÖBB Infrastruktur AG sieht vor, dass Eisenbahntunnel mit einer Länge ab 500 m jedenfalls mit einer Festen Fahrbahn auszustatten sind. Generell soll die Mindestlänge eines Festen Fahrbahnabschnitts 500 m betragen. Bei aufeinanderfolgenden Festen Fahrbahnabschnitten soll in der Regel der Zwischenbereich (z.B. ein Freilandabschnitt) auch in Fester Fahrbahn ausgeführt werden, wenn dieser Bereich nicht wesentlich länger ist als die daran anschließenden Festen Fahrbahnbereiche. Allerdings sind diese Festlegungen immer projektspezifisch zu prüfen, wobei sowohl technisch wirtschaftliche Überlegungen als auch die laufende Instandhaltung dabei maßgebliche Kriterien darstellen.

3.2.2 Tunnelquerschnitt

Der Querschnitt der eingleisigen Tunnelröhren des Koralmtunnels wurde, gegenüber dem zum Zeitpunkt der UVE im Jahr 2002 üblichen Standard der ÖBB, im Rahmen eines mehrjährigen Entwicklungsprozesses in mehreren Schritten signifikant optimiert. Der geringste Innenradius der Fahrtröhren beträgt daher im Ausführungsprojekt 3,95 m an Stelle der im Jahr 2002 vorgesehenen 4,40 m. Aufgrund der Platzanforderungen für die bahntechnischen Ausrüstungen und für die 110 kV Hochspannungsleitung wurde rasch klar, dass auch das Fahrbahnsystem möglichst platzsparend auszuführen ist – die zur Verfügung stehende Fahrtrögbreite beträgt im Regelfall nur 2,78 m, lediglich im Bereich von Masse-Feder-Systemen ist eine Aufweitung auf 2,95 m vorgesehen. Im Fahrtrög ist neben der Festen Fahrbahn selbst auch die Fahrraumentwässerung unterzubringen. Das im Jahr 2002 gültige Regelwerk der ÖBB sieht für Feste Fahrbahnen eine Mindestbreite des Fahrtrögs von 2,90 m vor. Im Zuge der Arbeiten an der Festen Fahrbahn für den Arlbergtunnel wurden bereits Erfahrungen mit einer Konstruktionsbreite der Festen Fahrbahn in Gleistragplattenbauweise von 2,12 m gesammelt – auch hinsichtlich der Befahrbarkeit mit gummibereiteten Fahrzeugen für derart schmale Fahrbahnkonstruktionen.

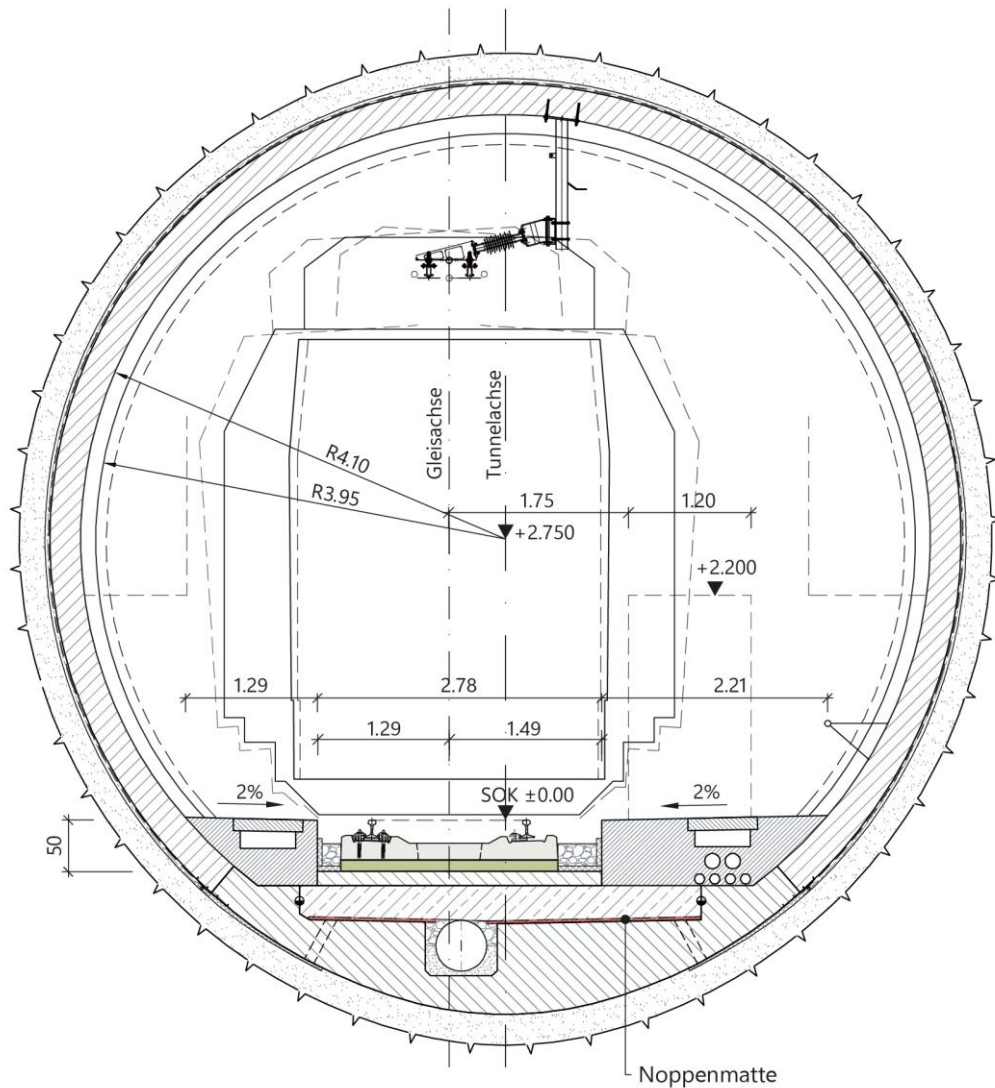


Abbildung 1 Feste Fahrbahn in Tunnelröhre mit Fahrtrögbreite 2,78 m. [1]

3.2.3 Tunnelentwässerungskonzept

Das Tunnelentwässerungskonzept des Koralmtunnels sieht eine strikte Trennung von Bergwässern und im Tunnelinnenraum anfallenden Wässern vor. Dadurch wird eine Kontamination der Bergwässer mit allfälligen Störfallwässern aus dem Tunnel sicher vermieden. Die Trennung zwischen Bergwasserdrainage und Fahrraumentwässerung liegt im Bereich der Festen Fahrbahn. Die Reinigung der Bergwasserdrainage erfolgt über ein System von abgedichteten Schächten in Gleisachse. Das Bergwasser wird über Noppenmatten unterhalb der sogenannten RBS-Platte in die Bergwasserdrainage eingeleitet. Die RBS-Platte ist das Auflager für die Feste Fahrbahn. Die Lastabtragung der Festen Fahrbahn erfolgt über diese RBS-Platte auf die Noppenmatte und über diese in die Unterkonstruktion. Damit die Lasten sicher abgeleitet werden können wurden bereits in einer sehr frühen Phase Versuche hinsichtlich des Reibkoeffizienten zwischen Noppenmatte und Unterkonstruktion durchgeführt und darauf aufbauend entsprechende rechnerische Nachweise insbesondere für den Abtrag der Longitudinal- und Lateralkräfte erbracht.

Der Abstand der Schächte wurde so festgelegt, dass eine minimale Anzahl an Sonderkonstruktionen der Festen Fahrbahn erforderlich wurde und mit einer Standardlösung gearbeitet werden konnte. Besondere Herausforderungen haben sich hinsichtlich der Abdichtung und der Bautoleranzen ergeben.

Für die Fahrtraumentwässerung werden zwei Bereiche unterschieden: der Bereich von den beiden Tunnelportalen in Richtung Tunnelmitte, der vom Eintrag von Schleppwässern betroffen ist und der Tunnelinnenbereich, der praktisch kaum von Schleppwassereintrag betroffen ist. In den portalnahen Bereichen (bis ca. 3 km ins Tunnelinnere) wird die Entwässerung durch seitlich angeordnete mit Einkornbeton ummantelte Drainageleitungen realisiert, die die Wässer aus dem Tunnel ableiten. Für den Innenbereich des Tunnels wird davon ausgegangen, dass die eventuell noch anfallenden Restschleppwässer in den beidseits der Festen Fahrbahnkonstruktion vorhandenen mit Einkornbeton gefüllten Rinnen verdunsten.

3.2.4 Tunnelsicherheitskonzept

Das Tunnelsicherheitskonzept des Koralmtunnels baut auf folgenden Prinzipien auf:

- I Selbstrettung vor Fremdrettung
- I Sichere Bereiche
- I Nothaltestelle
- I Nutzung der 2. Tunnelröhre für Evakuierung

Hinsichtlich des Fahrbahnsystems sind daher Begehrbarkeiten zur Fluchtwegnutzung sicher zu stellen. Die Oberfläche der Festen Fahrbahn ist im Vergleich zu einem Schotteroberbau bereits sehr ebenflächig und daher gut zu begehen. Durch geeignete Eindeckungen der Fahrbahn kann eine derartige Begehrbarkeit bei Bedarf auch als durchgehende Fläche auf Höhe der Schienenoberkante erreicht werden.

3.3 Konzeption Masse-Feder-Systeme

Aufgrund der Bebauungen im Nahebereich des Koralmtunnels mit geringer Überdeckung (also im Nahebereich der Tunnelportale) wurden sowohl auf steirischer Seite im Bereich Leibenfeld (Ostportal) als auch auf Kärntner Seite im Bereich Lindhof (Westportal) Untersuchungen und Prognoserechnungen hinsichtlich der zu erwartenden Sekundärschall- und Erschütterungsimmissionen bei den Anrainern durchgeführt. Dabei wurde stufenweise vorgegangen: in einem ersten Schritt erfolgten die Prognosen auf Basis geotechnischer Untersuchungen (Refraktionsseismik) und Bewertung der Schwingungsübertragungen vom Emissionsort, also von der Kontaktfläche Rad-Schiene, zu den Anrainern, Fundamente und Decken der Gebäude mittels numerischer Simulationen. In einer zweiten Phase wurden

dann direkte Messungen während des Tunnelvortriebs und Emissionsspektren vergleichbarer Tunnel herangezogen. Die endgültige Festlegung der erforderlichen Maßnahmen erfolgte dann unter Verwendung von VibroScan Untersuchungen und der Auswertung der Emissionen der bauzeitlichen Tunnelbahn. Schlussendlich ergab sich folgendes Erfordernis für Masse-Feder-Systeme:

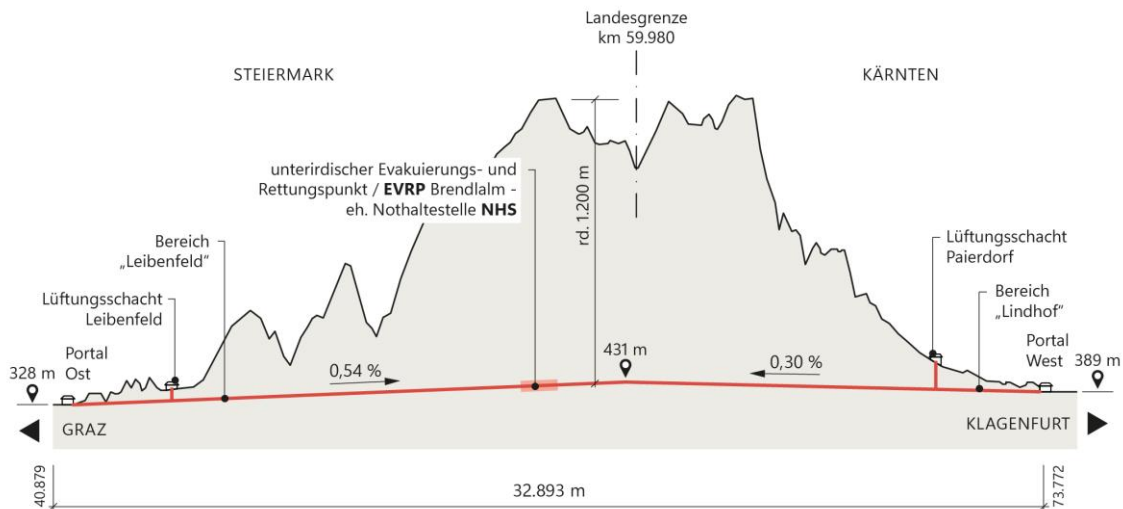


Abbildung 2 Schema-Längsschnitt Koralmtunnel [2]

Südröhre

- I Portalbereich Ost: MFS 20 Hz, Länge 250 m
- I Bereich Leibenfeld: MFS 15 Hz, Länge 320 m und 690 m; MFS 20 Hz, Länge 430 m
- I Bereich Paierdorf: MFS 20 Hz, Länge 200 m
- I Bereich Lindhof: MFS 16 Hz, Länge 525 m
- I Portalbereich West MFS: 20 Hz, Länge 200 m

Nordröhre

- I Portalbereich Ost: MFS 20 Hz, Länge 250 m
- I Bereich Leibenfeld: MFS 15 Hz, Länge 370 m und 750 m; MFS 18 Hz, Länge 370 m
- I Bereich Paierdorf: MFS 20 Hz, Länge 200 m
- I Bereich Lindhof: MFS 18 Hz, Länge 525 m
- I Portalbereich West MFS: 20 Hz, Länge 200 m

Aufgrund der gegebenen Anforderungen an die Eigenfrequenzen und den Platzverhältnissen im Tunnel wurden folgende Konstruktionstypen entwickelt:

- I Masse-Feder-Systeme mit Flächenlagerung
- I Masse-Feder-Systeme mit Streifenlagerung (für Eigenfrequenzen < 17 Hz)
- I Masse-Feder-Systeme in Form eines Trog- und in Form eines Plattenquerschnitts

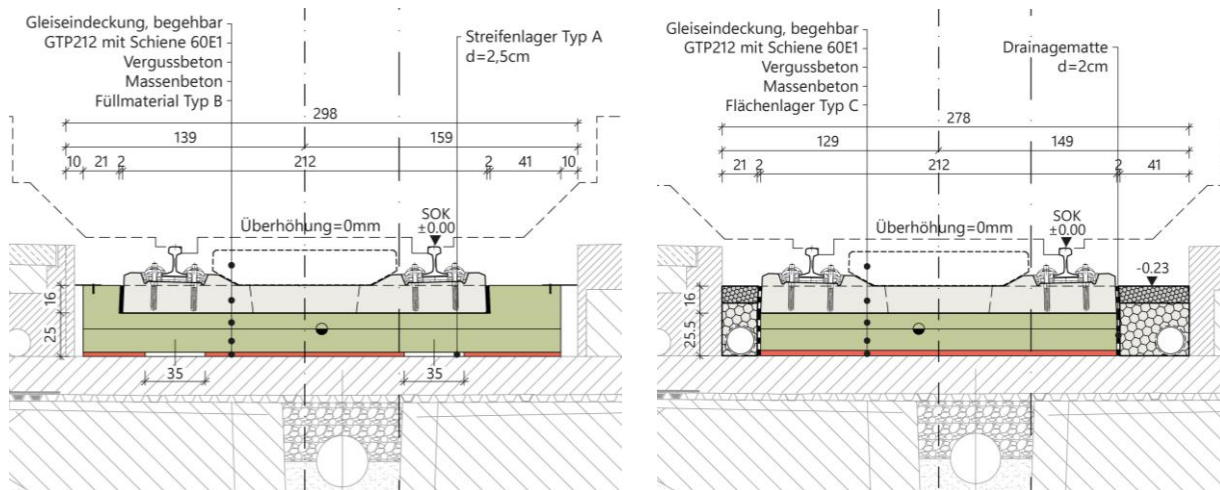


Abbildung 3/4 MFS Trogquerschnitt mit Streifenlagerung und MFS Plattenquerschnitt mit Flächenlagerung [3]

3.4 Systemwahl Feste Fahrbahn

Aufbauend auf den konzeptionellen Vorgaben wurde eine Marktanalyse zu Festen Fahrbahnsystemen durchgeführt. Dabei waren wesentliche Kriterien:

- I System muss im Vollbahnbereich, mit einem ähnlichen Betriebsprogramm wie bei der Koralmbahn vorgesehen, mehrjährig erfolgreich erprobt sein
- I System muss entweder eine Zulassung einer europäischen nationalen Bahngesellschaft, einer europäischen nationalen Eisenbahnbehörde oder eine ÖBB-Anwendung vorweisen können
- I System muss den TSI-Anforderungen entsprechen und entweder eine Teilprüfbescheinigung vorweisen oder zumindest bereits bei einem Einzelprojekt eine positive EG-Prüfbescheinigung vorweisen

Schlussendlich wurden dann mehrere Systeme einer vertieften vergleichenden Prüfung unterzogen:

- I Sonnevile System LVT (Low Vibration Track)
- I RailOne System Rheda 2000
- I Max Bögl Fertigteilplattensystem
- I System ÖBB-Porr elastisch gelagerte Gleistragplatten (Slab Track Austria – STA)

Durch diese Vorauswahl wurden grundsätzlich unterschiedliche Bauweisen betrachtet und somit ein Querschnitt über weit verbreitete Systeme abgebildet. Anhand der nachfolgenden Kriterien erfolgte dann eine detaillierte qualitative Bewertung, wobei als Referenzsystem das System „ÖBB-Porr elastisch gelagerte Gleistragplatte“ herangezogen wurde, da dieses

die Regelbauart im Streckennetz der ÖBB darstellt. Bei der Bewertung wurden die Anwendungsfälle entlang der gesamten Koralmbahn mit einbezogen, da eine einheitliche Systemwahl für die gesamte Bahnstrecke vorteilhaft ist.

I Geometrische Parameter: Platzbedarf und Bauhöhe Herstellbarkeit Öffnung Entwässerungsschächte	I Einbauparameter: Vorfertigungsgrad Einbaugeschwindigkeit und Einbaufehleranfälligkeit Arbeitssicherheit Qualitätssicherung Erzielbare Anfangs-Gleislagequalität Möglichkeit der Regulierung
I Betriebs-/ Sicherheitsparameter: Brandschutz Instandhaltungskonzept Reparaturkonzept	I Systemparameter: Sekundärschall- und Erschütterungsminde- rungswirkung Befahrbarkeit für gummibereitete Fahrzeuge Freilandtauglichkeit Langzeiterfahrung

Zusätzlich zu dem o.a. qualitativen Vergleich wurde ein Systemvergleich hinsichtlich der relevanten Aspekte des Life-Cycle Managements ausgearbeitet. In einem ersten Schritt wurden die LCM-Bewertungsfaktoren für jedes System ermittelt und die Ergebnisse gegenübergestellt. Es wurden folgende LCM-Bewertungsfaktoren berücksichtigt:

I Technische Lebensdauer	I Lebenszykluskosten
I Reparatur- und Austauschkonzept	I Höhenregulierung

Danach erfolgte die Ermittlung, Gegenüberstellung und Bewertung von Alterungsmodellen, Maßnahmenplanungen und Lebenszykluskosten jeweils anhand von LCM-Bewertungsmatrizen. Hinsichtlich Instandhaltung wurden für die Lebenszykluskosten folgende Ansätze angewendet:

- I Maßnahmen, die unabhängig vom FF-System zu erwarten sind und deren Kosten ebenfalls vom FF-System annähernd unabhängig sind:**
 - Inspektion (Begehung und Befahrung)
 - Schienenschleifen
 - Schientausch
 - Spülen/Instandsetzen Entwässerung

- I Maßnahmen, die abhängig vom jeweiligen FF-System auftreten und zu individuellen Kosten für das jeweilige System führen:
- Sanierung gelockerter Schwellen
 - Erneuerung von Stützpunkten/Teilewechsel
 - Instandsetzung von Setzungsschäden
 - Rissanierung

Schlussendlich hat sich in der Zusammenschau aller Untersuchungsergebnisse folgende Reihung ergeben:

	Betriebserprobung			Technische Nutzungsdauer	Lebenszyklus-kosten	Reparatur-/ Austausch-konzept	Höhen-regulierung	Gesamt-be-wertung
	Referenz-strecke	Langzeit-erfahrung	Betriebs-erprobung					
Bögl	4	4	4	2	2	2	2	2
LVT	3	2	2	4	4	4	3	4
ÖBB – PORR	1	1	1	1	1	1	1	1
Rheda 2000	1	3	3	3	3	3	4	3

Tabelle 1 Reihung der Fahrbahnsysteme [1]

Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurde seitens der ÖBB entschieden, dass die Feste Fahrbahn in Form des Systems ÖBB-Porr elastisch gelagerte Gleistragplatte weiter beplant wird.

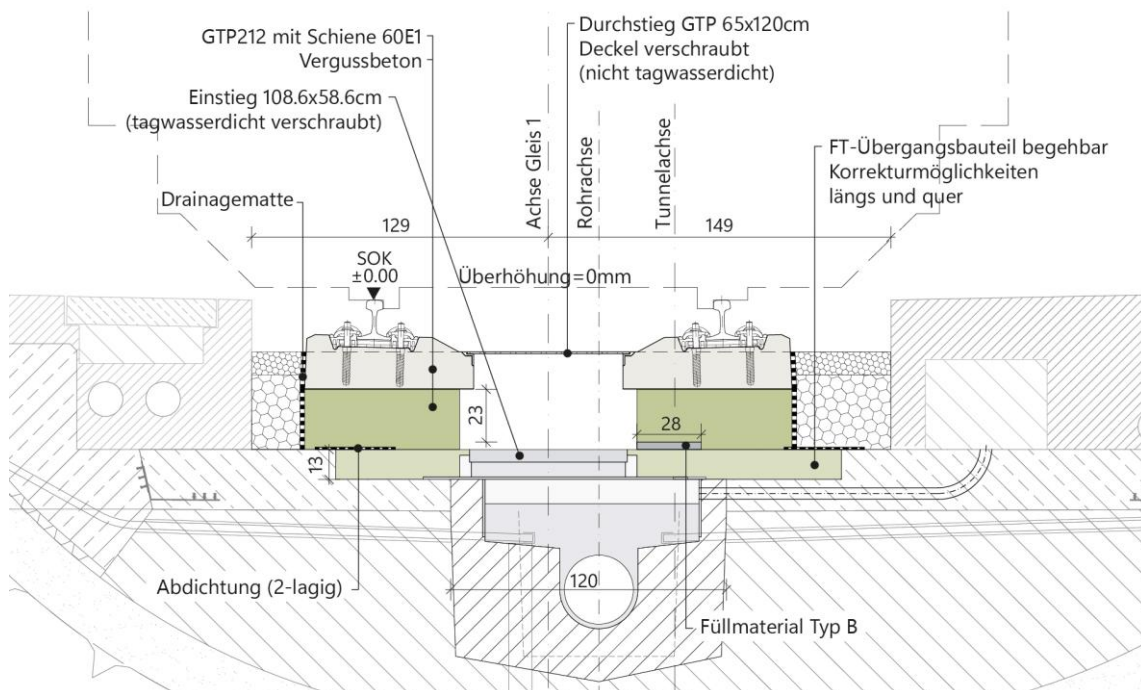


Abbildung 5 FF-Systemquerschnitt im Bereich Schacht für Mitteldrainage [3]

3.5 Ausschreibungs- und Ausführungsplanung FF und MFS

Nachdem die Systementscheidung getroffen wurde, konnte die Ausschreibungsplanung erfolgen. Dabei war auch die Trassierung nochmals zu kontrollieren und fallweise anzupassen, um die Ist-Lage der Tunnelröhren und damit die Abweichungen von der Soll-Lage entsprechend zu berücksichtigen. Die Planung der Festen Fahrbahn beinhaltet auch die Austeilung der Gleistragplatten in Tunnellängsrichtung unter Berücksichtigung der geometrischen Zwangspunkte und die Planung der Fertigteilplatten selbst. Für die Plattenproduktion und Lieferung wurde ein Prüfsystem gewählt – die Platten wurden für den Einbau über einen eigenen Vertrag beigestellt. So konnte schlussendlich auf der einen Seite mit der Arge MABA/HABAU ein sehr kompetenter Fertigteilproduzent mit einer auf der Baustellen-seite sehr erfahrenen und fachkundige ARGE bestehend aus Porr Bahnbau und Rhomberg/Sersa Bahnbau kombiniert werden, um ein technisch-wirtschaftlich optimales Ergebnis zu erzielen.

Die Komplexität des Gesamtsystems ist anhand der Systemquerschnitte gut erkennbar. Insbesondere die beengten Platzverhältnisse und die Dichtigkeitserfordernisse an die Schächte für die Mitteldrainage waren gemeinsam mit der Logistik und Baustellensicherheit für einen derartig langen Tunnel herausfordernd. Zur Erleichterung des Einbaus wurde die Randwegherstellung vom Tunnelrohbau in den Tunnelausbau verschoben und somit für die Erstellung der Fahrbahn ein größtmöglicher Bewegungsspielraum in den Tunnelröhren geschaffen.

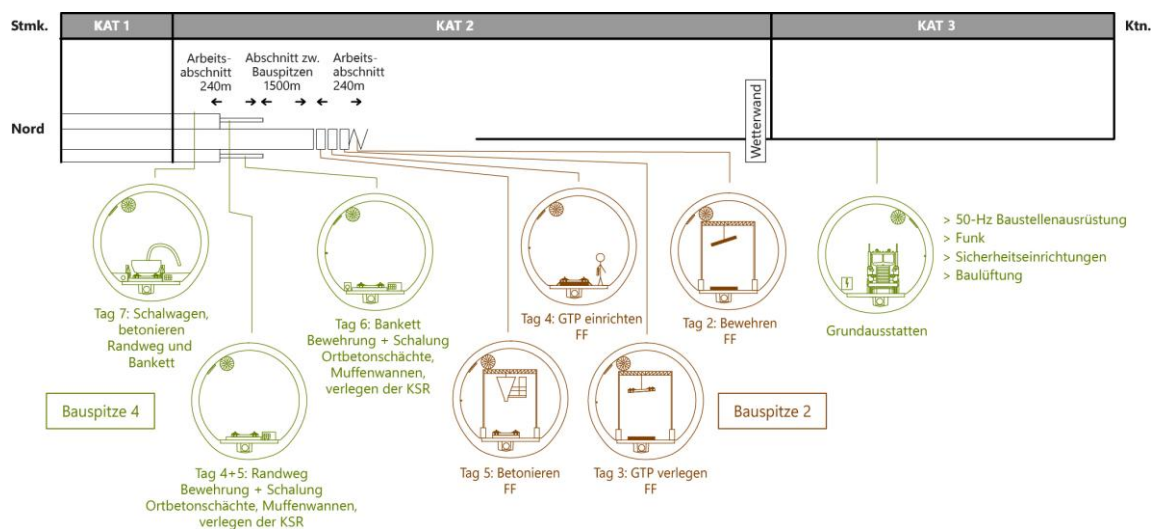


Abbildung 6 Bauablauf Ausschreibungsplanung am Beispiel Nordröhre

Zur Sicherstellung einer bestmöglichen Ausführungsqualität wurde auch die Errichtung eines Probegleises vor Beginn der Fahrbahnerrichtung außerhalb des Tunnels vorgesehen.

Weitere Qualitätssicherungsmaßnahmen für die Bauausführung waren:

- I Gleislageabnahme vor Betonage
- I Gleislagekontrolle am fertigen System
- I Endoskopprüfungen des Vergusses der GTPs
- I Abhebekontrolle an einzelnen GTPs zur Prüfung des vollflächigen Vergusses bzw. von Lunkerbildungen.
- I Eigenfrequenzprüfungen an den Masse-Feder-Systemen

3.6 Zusammenfassung

Der Koralmtunnel ist Kernstücke der neuen Hochleistungseisenbahnstrecke zwischen Graz und Klagenfurt. Für den Fahrweg wurde eine Feste Fahrbahn bereichsweise auf Masse-Feder-Systemen konzipiert, geplant und ausgeführt. Dazu wurde in einer ersten Phase die Auswahl des Festen Fahrbahnsystems anhand einer Fülle von Kriterien über Lebenszykluskostenanalysen durchgeführt. Die erforderlichen unterschiedlichen Masse-Feder-Systeme wurden auf Basis von Erschütterungs- und Sekundärschallprognosen entwickelt. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse in den sehr langen Tunnelröhren wurde die Herstellung der Randwege vom Tunnelrohbau in die Phase des Baus der Fahrbahn verschoben. Die Ausschreibungsplanung teilte sich in die Ausarbeitung eines Prüfsystems für die Produktions- und Lieferungsleistungen für die Fertigteilgleistragplatten und in die Ausschreibung der Einbauleistungen für die Fahrbahn, die Randwege und weitere bahntechnische Ausrüstungen. Dabei wurde auch eine Bauablauflogistik entwickelt. In weiterer Folge wurde die Ausführungsplanung erstellt, wobei insbesondere die Gleistragplattenausteilung unter Beachtung der geometrischen Zwangspunkte und die unterschiedlichen Masse-Feder-Systeme bei den vorhandenen beengten Platzverhältnissen herausfordernd waren. Baubegleitend wurden sowohl für die Fahrbahn als auch für die Wirksamkeit der Masse-Feder-Systeme umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen ergriffen.

Insgesamt ist es durch das Engagement aller Projektbeteiligten gelungen, einen modernen Fahrweg, der trotz der langen Projektgeschichte dem letzten Stand der Technik entspricht zu planen und umzusetzen.

Literatur

- [1] D. Pichler, M. Widmann, Vergleich Feste-Fahrbahn-Systeme, FCP ZT GmbH, Wien, März 2015
- [2] R. Felsner, H. Steiner, W. Unterberger, Masse-Feder-Systeme im Koralmtunnel: 20 Jahre – Prognose, Planung, Realisierung, Inbetriebsetzung, 3. Wiener Dynamik Tage, 25.07.2024.
- [3] FCP ZT GmbH, Ausführungsprojekt Feste Fahrbahn und Masse-Feder-Systeme im Koralmtunnel