

Florian Diernhofer
Klaus Schneider
Helmut Steiner

Herausforderung Instandhaltung Koralmtunnel

Spannungsfeld betriebliche Verfügbarkeit und Anlagenmehrung

Mit einer Länge von 33 km zählt der Koralmtunnel (KAT) als östlichste Alpenquerung und Teil der Koralmbahn (KAB) zu den längsten Eisenbahntunnel der Welt. Gegenwärtig steht man vor dem Beginn der bahntechnischen Ausrüstung des Tunnels und es gilt in besonderem Maße, aktuelle Entscheidungen für die Zukunft vorausschauend zu treffen. Insbesondere gilt es den Zielkonflikt der terminlichen Betrachtungshorizonte von beinahe 20 Jahre zurückliegenden Baugenehmigungsverfahren, 150 Jahre Dimensionierungshorizonten und rasanten Entwicklungsgeschwindigkeiten im Elektronik-, Daten-, und Telematikbereich zu überwinden. Die gewonnenen Erfahrungen aus dem Betrieb langer Eisenbahntunnel bestätigen, dass trotz aller logistischen Anstrengungen die Instandhaltung (IH) der bahntechnischen Ausrüstung zu großen zeitlichen und finanziellen Aufwänden und einhergehend auch zu Einschränkungen der betrieblichen Streckenverfügbarkeit führt.

Keywords: Koralmbahn, Koralmtunnel, Instandhaltung, Erhaltung, Tunnelausrüstung, Verfügbarkeit

Challenge Maintenance Koralmtunnel - operational availability versus increasing rail equipment:

The Koralm tunnel (length 33 km) crossing the eastern Alps is part of the Koralmbahn line and one of the longest rail tunnels in the world. The installation of railway equipment in the tunnel is due to start soon and it is particularly important to now make current decisions considering future developments and demands. In particular the conflicting goals of the scheduling horizon of the construction permit process nearly 20 years ago, the 150-year design horizon and the rapid development of electronics, data processing and telematics have to be considered. Experience of operation of long rail tunnels confirms that despite all logistical efforts, the maintenance [3] of railway equipment leads to a great expense of time and finance and also to restrictions of the line availability for operations.

Keywords: Koralm line, Koralm tunnel, maintenance, sustainment, tunnel equipment, availability

1 Allgemeines

Die KAB ist Teil des Baltisch-Adriatischen Korridors im TEN-Kernnetz und zählt zu den bedeutendsten Verkehrsinfrastrukturprojekten in Europa. Die zweigleisige, elektrifizierte Neubaustrecke mit in Summe 23 neuen oder modernisierten Bahnhöfen verbindet die Städte Graz und Klagenfurt. Das Kernstück stellt der 33 km lange KAT dar, dessen 2 eingleisige Fahrtunnel, alle 500 m über Querschläge miteinander verbunden sind. Aufgrund dieser Länge nimmt der Tunnel hinsichtlich Ausrüstung, Betrieb und IH eine Sonderstellung ein. Überlegungen hinsichtlich der Lage der IH-Stützpunkte sowie des Fahrzeug-, Geräte- und Personalkonzeptes entlang der KAB sind immer im engen Kontext mit dem KAT zu sehen.

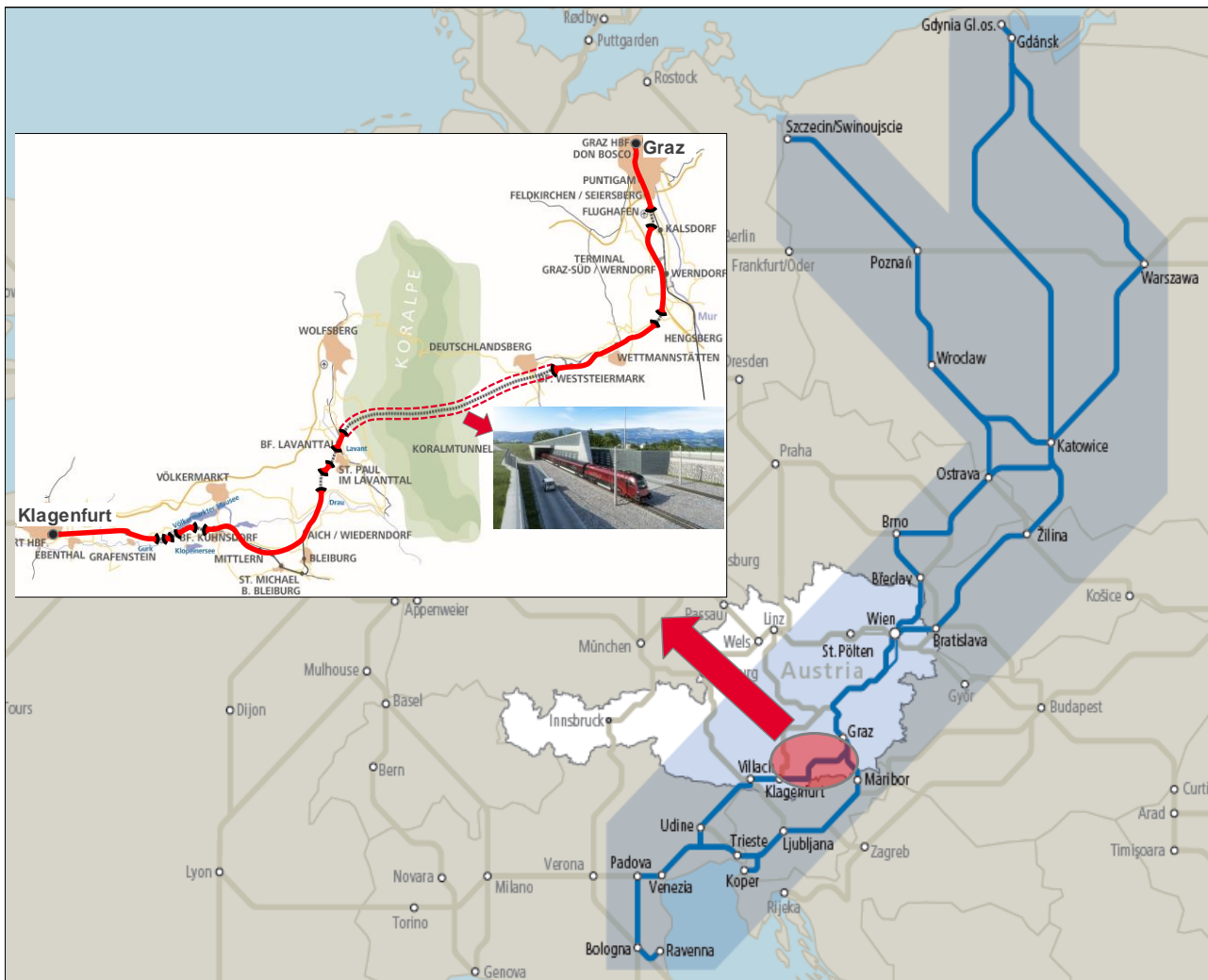


Fig. 1. Overview Koralm railway line

Bild 1. Übersicht Koralmbahn

2 Herausforderungen Großprojekt

2.1 Organisationsstruktur Planung

Projekte dieser Größenordnung zeichnen sich durch sehr lange Planungs- und Realisierungsphasen aus und benötigen vom Start weg ein stabiles, aber ausreichend flexibles Projektmanagement. Kernelement ist dabei eine eindeutige, gesamtheitliche Projektverantwortung mit klaren Aufgabenzuordnungen sowie Handlungs- und Entscheidungskompetenzen, sodass die unterschiedlichsten Anforderungen von der Trassenentwicklung, über die verschiedenen Planungsphasen bis zur Umsetzung und Ausrüstung sowie Inbetriebnahme erfüllt werden können.

In einer Welt rasch fortschreitender Technologie ist es einerseits erforderlich, die behördlich genehmigten Projektgrundlagen beizubehalten andererseits aber auch notwendige Optimierungen und Innovationen zuzulassen. Die damit einhergehenden Zielkonflikte zwischen Optimierung und Kontinuität erfordern einen laufenden, interdisziplinären und iterativen Planungs- und Realisierungsprozess. Um dies sicherzustellen wurde bereits in den ersten Planungsphasen eine gesamthafte Organisationsstruktur aufgebaut, durch welche fachspezifisch übergeordnete Spezialthemen (über die Projektabschnitte hinweg) gezielt abgehandelt werden. Eine Matrixorganisation zur Projektabwicklung mit einer planmäßigen Einbindung der zukünftigen Erhalter bzw. technischen und wirtschaftlichen Anlageneigentümer sowie Fachreferenten für die unterschiedlichen Gewerke stellt dabei eine wesentliche Grundlage der Projektarbeit dar.



Fig. 2. Professional project management

Bild 2. Professionelles Projektmanagement

2.2 Berücksichtigung von Erfahrungen

Gerade die langen Realisierungszeiträume derartiger Großprojekte erfordern einen besonders sensiblen Umgang mit potentiellen Projektoptimierungen. Dies gilt insbesondere für die aktuelle Realisierungsphase, in der man kurz vor der Rohbaufertigstellung steht und der KAT im Anschluss bahntechnisch auszurüsten ist.

Die gesammelten Erfahrungen aus dem Betrieb vergleichbarer Bahntunnel (z.B. Gotthard-/Lötschberg-Basistunnel sowie die Neubautunnel im Brennerzulauf oder der Weststrecke Wien - St.Pölten) sind im fortlaufenden Konkretisierungs- und Optimierungsprozess miteinzubeziehen. Z.B. können beim Gotthard Basistunnel, ebenso wie beim KAT, IH-Tätigkeiten nur im Rahmen planmäßiger Sperren von einem der beiden Fahrtunnel abgewickelt werden. Durch die langen Wege (Fahrzeiten bis 1 h pro Richtung) kommt es derzeit wöchentlich zu mind. 3 fixen Sperren.

10 Jahre Betriebserfahrungen beim Lötschberg-Basistunnel zeigen wiederum, von welcher hohen Bedeutung die Sicherstellung eines günstigen Betriebsumfelds ist. So führt z.B. ein sehr trockenes Tunnelklima zu einer verstärkten Staubproblematik samt nachteiligen Auswirkungen auf Mensch und Technik. Die Staubbelastung - hauptsächlich infolge des Metallabriebs bei Bremsstrecken - ist aufgrund des erhöhten Reinigungsbedarfs ein wesentlicher Treiber für den IH-Aufwand. Das Gegenteil gilt wiederum für Bereiche mit hohem Bergwasseranfall, wo das feuchte Tunnelklima ebenfalls zu nachteiligen Auswirkungen auf die Lebensdauer und Störanfälligkeit der Elektroanlagen führen kann. Daher wurde dort in den letzten Jahren versucht, durch Vereinheitlichungen, Erneuerungen und Reduktion nicht zwingend erforderlicher Anlagen die Streckenverfügbarkeit zu erhöhen.

Die bisherigen Erfahrungen aus dem Betrieb langer Bahntunnel bestätigen ganz klar den von den ÖBB für die Tunnelausrüstung verfolgten Grundsatz: „So viel wie notwendig, jedoch so wenig wie möglich!“ Das vorrangigste Ziel bei Neubaustrecken muss sein, eine möglichst hohe Streckenverfügbarkeit sicherzustellen. Dabei gilt es, einen möglichst geringen Entstörungs- und Erhaltungsaufwand zu gewährleisten, ohne dabei Einbußen hinsichtlich der Sicherheit hinnehmen zu müssen.

3 Optimierungen

3.1 Entfall bzw. Redimensionierung von Anlagen

Am einfachsten ist der Entfall bzw. die Redimensionierung von Anlagen, deren eigentliche Sicherheitsfunktion sich über die Zeit relativiert hat und für Neubauprojekte nachweislich nicht im Verhältnis zur Wirtschaftlichkeit steht. Hier wären z.B. die ortsfesten Notruffernsprecher im Fahrtunnel zu nennen, die durch den Einsatz von GSM-Technologien (GSM-Rail) keinen großen Mehrwert mehr aufweisen.

Da bestehende Regelwerke oftmals nicht in der Lage sind, die Fragestellungen und Herausforderungen solcher Großprojekte zufriedenstellend abzudecken, erfordert dies deren Fortschreibung oder die planmäßige Abweichung dank umgesetzter Innovationen. Die erforderliche Entscheidungsgeschwindigkeit für Lösungen korreliert dabei allerdings nur selten mit der erzielbaren Geschwindigkeit bei der Fortschreibung der Regelwerke.

Ein weiteres Bsp. liefern die Stromverteiler (sog. Elektranen) im Fahrtunnel, die dank der rapiden Weiterentwicklung der Akkutechnologie großteils durch autarke Elektroanlagen und -geräte ersetzt werden könnten. Durch ein neues Konzept von (Tunnel-)Rettungszügen steht zusätzlich eine mobile Stromversorgung bei Einsätzen im Tunnel zur Verfügung.

3.2 Innovationen

Die Erfahrungen zeigt, dass die Oberleitung, ausgeführt als Deckenstromschiene, eindeutige Vorteile gegenüber einem Kettenwerk aufweist. Neben einer einfacheren und rascheren Montage, dem Entfall technischer Nischen und Verstärkungsleitungen schlagen in puncto Sicherheit eine längere Verfügbarkeit im Ereignisfall sowie die Reduktion der Gefahr des Herabfallens einer beschädigten Oberleitung zu Buche.

Neue Systeme wie die Stromschiene sind in Österreich bei den ÖBB mittlerweile anerkannt und im Tunnel nicht mehr wegzudenken. Darüber hinaus werden in vielen Bereichen auch noch weitere neue Zugänge bei der bevorstehenden Ausrüstung des KAT forciert. Z. B. neue Systeme für die Branddetektion, die auf vorhandene Informationen aus der Anlagenfernüberwachung zugreifen.

Zur Brandbekämpfung im Tunnel ist in der Nothaltestelle eine automatische Hochdruckwassernebelanlage vorgesehen, sodass die Einsatzkräfte auch bei langer Zufahrt und spätem Eintreffen am Brandort Umgebungsbedingungen vorfinden, die einen aussichtsreichen Rettungs- und Löscheinsatz ermöglichen. Zusätzlich ergeben sich wesentliche Vorteile für den Bauwerkschutz.

Eine weitere Innovation wird hinsichtlich der Drainageeinrichtungen im Tunnel verfolgt. Durch die Installation eines Flächenfilters und einer mittigen Sohl drainage konnte auf die Ausführung der beidseitigen Ulmen drainagen verzichtet werden. Zudem wird dem Bergwasser in anfälligen Bereichen ein Härtestabilisierungsmittel zugeführt, sodass man von einer geringeren Versinterung und folglich einem geringeren Erhaltungsaufwand ausgeht.

Unter der Zielsetzung, ein höheres Sicherheitsniveau bei gleichzeitig höherer Verfügbarkeit der Strecke zu erreichen, wird derzeit auch ein neues Fahrzeug- und Standortkonzept für Rettungszüge entwickelt. Die zukünftige Generation dieser Züge soll weiterhin für Lösch- und Rettungseinsätze in Tunneln zur Verfügung stehen. Durch zusätzliche und überregionale Verwendung für regelmäßig anfallende Aufgaben, wie Instandhaltung und technische Hilfseinsätze (z.B. Abschleppen), könnten Nutzen und Wirtschaftlichkeit noch erhöht werden. Da im KAT aufgrund der großen Länge auf die Ausführung einer durchgehenden Löschwasserleitung im Tunnel verzichtet wird, sorgen die Rettungszüge auf beiden Seiten des Tunnels für eine mobile Löschwasserversorgung.

4 Erhebung des IH-Aufwands

Beim Projekt KAB, wurde aufgrund der besonderen Rahmenbedingungen (Projektdimension, lange Fortbewegungszeiten, Standortwahl der Anlagenservicecenter, usw.) bereits einige Jahre vor der geplanten Inbetriebnahme (2025/26) begonnen, den IH-Aufwand möglichst differenziert (Örtlichkeiten, Zuständigkeiten, Fristigkeiten, usw.) abzuschätzen, um daraus eine durchgängige IH-Strategie zu entwickeln.

4.1 Methodik (KAB gesamt)

In einem ersten Schritt wurden für die Streckenabschnitte, Bahnhöfe und Tunnel alle zu erhaltenden Bahnanlagen nach Bezeichnung, Lage, Anzahl und zuständiger Fachlinie erhoben und in Form eines Anlagenverzeichnisses zusammengestellt. Alle Arbeitsschritte wurden in enger Abstimmung mit dem späteren Erhalter vorgenommen, indem die ÖBB-intern verwendeten Datenbanken mit dem Anlagenverzeichnis digital verknüpft wurden. Im Datenbankbestand fehlende bzw. neuartige Tätigkeiten wurden auf Basis von Interviews mit Fachreferenten und zuständigen Fachplanern ergänzt. In einem zweiten Schritt wurden die erforderlichen IH-Tätigkeiten je Anlage und die dafür benötigten Team-Zeiten je Fachlinie ermittelt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über KAB-Abschnitte inklusive jener Objekte, deren IH besonders betriebliche Einschränkungen verursacht.

Table 1. Objects along the Koralm line for which maintenance causing significant operational restrictions

Tabelle 1. Objekte entlang der KAB, deren IH im Besonderen betriebliche Einschränkungen verursacht

Nb.	Section name	Length [km]	Objects included in section	Object length [km]	Specifics
1	Graz-Wundschuh	16	Flughafen Tunnel (+ramps)	5.50	7 emergency exits
2	Bf Wundschuh	2	Station	2.00	
3	Wundschuh-Wettmannsstätten	12	Weitendorf Tunnel (+ramps)	1.30	1 emergency exit
			Kainach Bridge	0.12	river bridge
			Hengsberg Tunnel	1.70	3 emergency exits
4	Bf Wettmannsstätten	3	Station	3.00	
5	Wettmannsst.-Weststmk.	5			
6	Bf Weststeiermark	2	Station	2.00	
7	Weststeiermark-Lavanttal	35	Koralm Tunnel	33.00	69 cross passages, 1 emergency station 2 ventilation shafts
8	Bf Lavanttal	2	Station	2.00	
9	Lavanttal-Wiedendorf-Aich	11	Granitztal Tunnel	6.10	12 cross passages, 1 ventilation building
			Jauntal Bridge	0.43	river bridge
10	Wiedendorf-Aich-Mittlern	8			
11	Bf Mittlern	2	Station	2.00	
12	Mittlern-Kühnsdorf	7	Kühnsdorf Tunnel	0.50	
13	Bf Kühnsdorf	1	Station	1.00	
14	Kühnsdorf-Grafenstein	12	Peratschitzen Tunnel	0.23	
			Srejach Tunnel	0.62	
			Untersammelsdorf Tunnel	0,65	
			Stein Tunnel	2.10	3 emergency exits
			Drau Bridge	0.60	river bridge
	Lind Tunnel	0.50			
15	Bf Grafenstein	3	Grafenstein Tunnel	0.60	1 emergency exit
16	Grafenstein-Klagenfurt	9			

Basierend auf den ermittelten Zeiten jener Tätigkeiten mit betrieblichen Einschränkungen und der Berücksichtigung des gleichzeitigen Arbeitseinsatzes mehrere IH-Teams (Gleichzeitigkeitsfaktor F_{Team}) kann die erforderliche Anzahl der IH-Schichten für die entsprechenden Sperrabschnitte gemäß Tabelle 2 errechnet werden.

Table 2. Correlation of Simultaneity factor F_{Team} and number of required maintenance shifts

Tabelle 2. Darstellung des Zusammenhangs von Gleichzeitigkeitsfaktoren und Anzahl erforderlicher IH-Schichten

Maintenance time causing operational restrictions (track closure)	X [h/year]
IH-Zeit mit betrieblichen Einschränkungen (Gleissperre)	X [Std/Jahr]
Time t_s per shift	t_s [h]
Zeit t_s pro IH-Schicht	t_s [Std]
Travel time t_r (access and return travel, dwell time)	t_r [h]
Reisezeit t_r (An- und Abfahrt und Nebenzeit)	t_r [Std]
Effective working time per shift	$t_{s,eff}$ [h]
Effektive Arbeitszeit je IH-Schicht	$t_{s,eff}$ [Std]
Factor F_{Team} of simultaneity of maintenance teams	F_{Team} [-]
Gleichzeitigkeitsfaktor F_{Team} der IH-Teams	F_{Team} [-]
Number of required maintenance shifts per year	$\frac{X \text{ [h/year]}}{(t_s - t_r) \times F_{Team}}$
Anzahl erforderlicher IH-Schichten pro Jahr	$\frac{X \text{ [Std/Jahr]}}{(t_s - t_r) \times F_{Team}}$

Je nach projektspezifischen Randbedingungen (wie z.B. Betriebskonzept, Sperrabschnitte, Personalressourcen, etc.) können unterschiedliche Varianten für die zeitliche Lage der periodisch planbaren IH-Schichten (Zeitpunkt, Sperrdauer) entlang der gesamten KAB ermittelt werden.

4.2 Koralmtunnel (KAT)

Als Schlüsselement für eine erfolgreiche Erhaltungsstrategie wurden vorweg die Anlagen des KAT erhoben. Deren regelmäßig durchzuführende IH führt aufgrund der extrem langen Wege mit ausschließlicher Portalzugänglichkeit zu mind. 6h Sperren eines Fahrtunnels. Die zugehörigen IH-Zeiten wurden ermittelt und räumlich aufgeteilt. In Bild 3 ist ersichtlich, dass sich die Aufwände für Tätigkeiten in den Fahrtunneln und Querschlägen etwa zu gleichen Teilen ergeben. Nur ein geringer Anteil in den Portalbereichen und Lüftungsgebäuden kann ohne betriebliche Auswirkungen erfolgen.

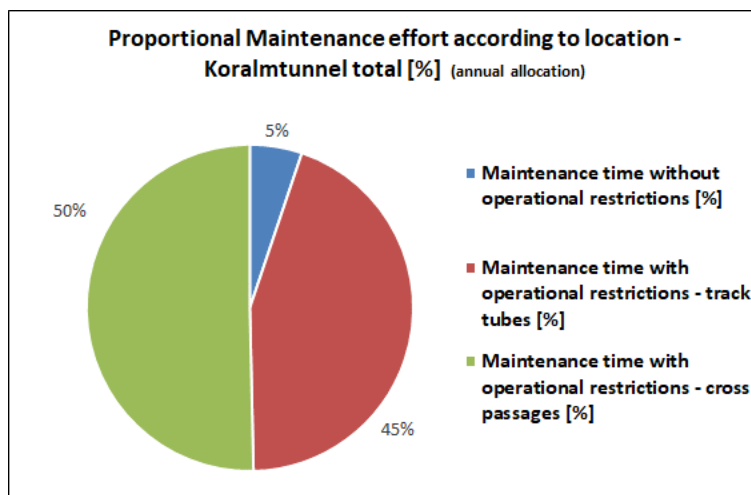


Fig. 3. Maintenance effort [hours/year] according to location - KAT total [5]

Bild 3. IH-Aufwand [Stunden/Jahr] unterschieden nach dem Ort - KAT gesamt [5]

Bild 4 zeigt die prozentuelle Aufteilung der Tätigkeiten zu den jeweiligen Fachbereichen. Es ist ersichtlich, dass der Bereich Energietechnik mit 28% den größten Anteil am IH-Aufwand aufweist.

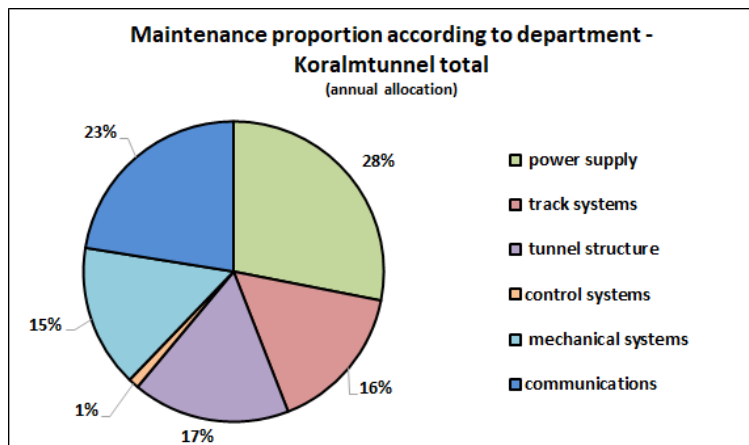


Fig. 4. Maintenance proportion [%] according to department - KAT total [5]

Bild 4. Verteilung [%] der betriebseinschränkenden Tätigkeiten nach Fachlinien - KAT gesamt [5]

Die **IH der Querschläge** unterscheidet sich wesentlich von der im Fahrtunnel. Bild 5 zeigt, dass sich die Tätigkeiten im Wesentlichen auf die Fachlinien Telematik (34%), Energietechnik (32%) und Maschinelle Anlagen (29%) beschränken.

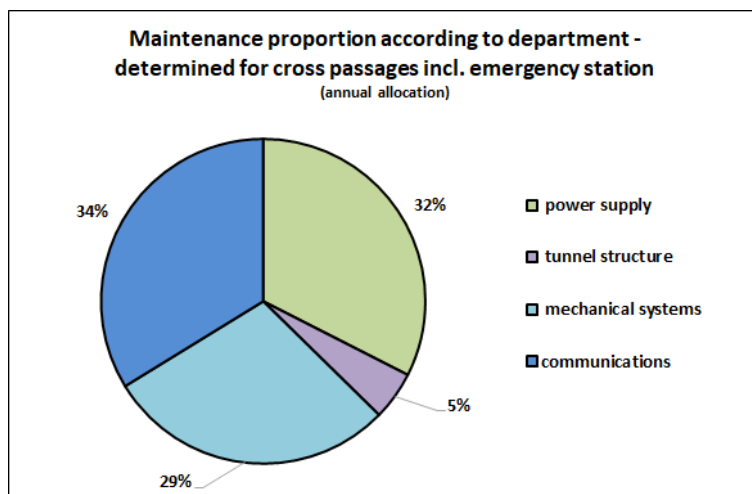


Fig. 5. Maintenance proportion [%] according to departments - cross passages incl. emergency station [5]

Bild 5. Verteilung [%] der betriebseinschränkenden Tätigkeiten nach Fachlinien – Summe Querschläge [5]

Ein Großteil der Arbeiten der dominierenden Fachlinien fällt im Intervall von 12 Monaten an. Zusätzlich ähneln sich die zeitlichen Aufwendungen, wodurch es naheliegt, diese Teams logistisch, womöglich auch fachlich, zu Erhaltungstrupps zu kombinieren.

Bricht man den ermittelten Gesamtaufwand für alle 69 Querschläge auf einen Mittelwert pro Querschlag herunter, ergibt sich ein IH-Aufwand von ca. 35 h/Jahr. Unter Berücksichtigung der 3-mal wöchentlich vorgesehenen Gleissperren sind allein bei Betrachtung der Querschläge bereits Team-Gleichzeitigkeiten zwingend

erforderlich. Dies zeigt, welche geringe Spielräume die enge Wechselwirkung zwischen erforderlichem Personalbedarf und verfügbaren Sperrzeiten zulässt. Basierend auf den Ergebnissen wird gegenwärtig an einer optimierten Erhaltungsstrategie unter den genannten Rahmenbedingungen (Betriebs- und Erhaltungskonzept, Sperrzeiten, Personalaufwand/Gleichzeitigkeiten) gearbeitet.

Die prozentuale Aufteilung der jeweiligen Fachlinien-Tätigkeiten bei der **IH der Fahrtunnel** ist in Abbildung 6 dargestellt. Anders als in den Querschlügen dominieren hier die Fachlinien Fahrweg, Konstruktiver Ingenieurbau und Energietechnik. Beim Fahrweg führen v. a. die Begehungen/Befahrungen der Streckengleise sowie die Tunnelreinigung zu hohen Aufwänden, während beim Konstruktiven Ingenieurbau das Drainagespülen durchschlägt. Im Bereich Energietechnik ist v. a. die Inspektion und Wartung der Fernwirk-, Niederspannungs- und USV-Anlagen sowie der Orientierungsbeleuchtung (im Handlauf integriert) ausschlaggebend.

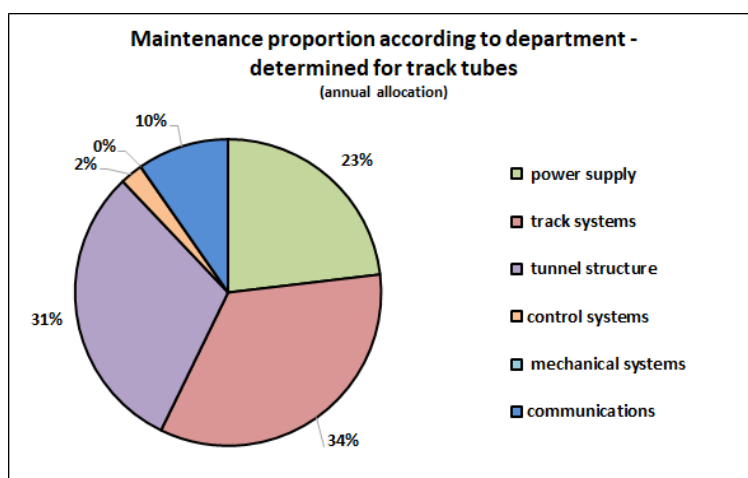


Fig. 6. Maintenance proportion [%] of track tubes incl. emergency station according to departments [5]

Bild 6. Verteilung der betriebseinschränkenden Tätigkeiten [%] nach Fachlinien in den Fahrtunneln [5]

5 Ausblick

Die präsentierten Ergebnisse beruhen auf der Prognosegrundlage einer vorwiegend präventiven Wartungsstrategie, bei der eine periodische Inspektion und Wartung nach festgelegten Fristen durchgeführt wird. In der Vorausschau auf den späteren Betrieb werden die zustandsorientierte Wartung (Ferndiagnose der Anlagen) und v. a. die prädiktive Wartung eine stärkere Rolle spielen. Die prädiktive Wartung vereint eine Vielzahl von Analysetechniken, um aus historischen Informationen und vernetzten Ist-Daten im Idealfall präzise Voraussagen über den zukünftigen Anlagenzustand zu treffen. Derart kann mit entsprechendem Vorlauf der beste Zeitpunkt zur Durchführung der nötigen Maßnahmen definiert werden.

Gegenwärtig erarbeiten die ÖBB ein optimiertes, ganzheitliches Betriebsprogramm, das unter den gegebenen Rahmenbedingungen (bahnbetriebliche Vorgaben, Fahrzeug- und Geräteeinsatz, Personalressourcen, Lage der Anlagenservicecenter) eine effektive und nachhaltige IH an der gesamten KAB sicherstellt.

Literatur

Richtlinien:

[1] *Europäische Union*: Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) bezüglich der Sicherheit in Eisenbahntunneln (SRT), Amtsblatt der Europäischen Union, 2014

[2] *Deutsches Institut für Normung e.V.*: Grundlagen der Instandhaltung DIN 31051, 2012

Vorträge/Publicationen:

[3] *Rudin, C., HBI Haerter AG*: Erfahrungen und Erkenntnisse zu Instandhaltung und Störungsbewältigung aus nahezu 10 Jahren Betrieb des Löttschberg - Basistunnels. STUVA-Tagung 2015, Dortmund

Zeitschriften:

[4] *ÖVG Österreichischer Verkehrsgesellschaft*: Abschlussbericht Rail & Road Traffic Management, ÖVG Spezial Nr.108, August Zierl, 2016

Projektspezifische Grundlagen:

[5] *ÖBB-Infrastruktur-AG*: Technischer Bericht Erhaltungskonzept Koralmbahn, ILF Consulting Engineers Austria GmbH, 2019

Autoren



Dipl.-Ing. Florian Diernhofer
ILF Consulting Engineers Austria GmbH
Abteilung Verkehrsplanung, Sicherheit und Risiko
Harrachstraße 26
4020 Linz
florian.diernhofer@ilf.com



Dipl.-Ing. Dr. Klaus Schneider
ÖBB-Infrastruktur AG, Projekte Neu- und Ausbau
Projektleitung Koralmbahn 1/Gesamtkoordination Koralmbahn
Europaplatz 2
8020 Graz
klaus.schneider@oebb.at



Dipl.-Ing. Dr. Helmut Steiner
ÖBB-Infrastruktur AG, Projekte Neu- und Ausbau
Projektleitung Koralmbahn 1
Europaplatz 2
8020 Graz
helmut.steiner2@oebb.at