

Helmut Steiner, Dipl.-Ing. Dr., ÖBB-Infrastruktur AG, Projektleitung Koralmbahn 1, Graz (A)

Peter-Johann Sturm, Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr., TU Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz (A)

Michael Bacher, Dipl.-Ing. Dr., Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz (A)

Daniel Fruhwirt, Dipl.-Ing., Forschungsgesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz (A)

Kühlung von Technischen Räumen in Eisenbahntunneln zur Erhöhung der Standzeiten und Minimierung der Wartung: Möglichkeiten der Optimierung am Beispiel Koralmtunnel

Das geplante Lüftungssystem des Koralmtunnels ist dafür geeignet, die Schutzziele nach Beschreibung im Tunnelsicherheitskonzept zu erreichen. Um jedoch möglichst alle Anforderungen an Funktionalität, Sicherheit, Wartung und Instandhaltung zu berücksichtigen, wurden Untersuchungen angestellt, um folgerichtige Entscheidungen zur Kühlung zu treffen. Im Zuge der laufenden Planungen wurden mit Simulationsberechnungen die zu erwartenden Randbedingungen in Fahrtunneln und Querschlägen ermittelt, um die notwendige Kühlung der Technikräume zu optimieren. Es war daher möglich, viele Querschläge mit technischer Ausstattung zu bestimmen, die aktiv gelüftet werden können. Nur Querschläge mit so großer Verlustwärme der technischen Einrichtungen, dass ein mechanisches Lüftungssystem versagen würde, werden klimatisiert. In einem nächsten Schritt wird das entwickelte Lüftungs-Kühlungs-Konzept für geschlossene technische Räume in Querschlägen hinsichtlich Lebenszykluskosten bewertet und weiter im Detail optimiert.

1 Einleitung

Große Bahnprojekte stellen vielfältige Anforderungen an Planung, Bau, Ausstattung, Inbetriebnahme und spätere Betriebsführung. Um all diese teilweise sehr unterschiedlich zu bewertenden Themen und Bereiche in Einklang zu bringen, sind vorab weitreichende Überlegungen erforderlich. Wachsende Tunnelnängen, erhöhte Anforderungen an die Tunnelsicherheit und die Ausnutzung von vorhandenen technischen Möglichkeiten sind Gründe für einen massiven Zuwachs an technischen Anlagen. Dieser Trend muss aufmerksam und kritisch verfolgt und hinterfragt werden, damit es nicht zu erhöhten Instandhaltungsaufwendungen, Verringerungen der Anlagenverfügbarkeit, zu Einschränkungen bei der Kapazität und Qualität der Betriebsführung kommt.

Diese Punkte bekommen durch die von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) in den letzten Jahren in Betrieb genommenen Neubaustrecken Wien–St. Pölten, rund 60 km, und Unterinntalbahn, rund 40 km, und die daraus gewonnenen Er-

Cooling of Service Rooms in Rail Tunnels to Increase Lifetimes and Minimise Maintenance: Optimisation Possibilities through the Example of the Koralm Tunnel

The ventilation system designed for the Koralm Tunnel is suitable to achieve the protection aims in line with the tunnel safety concept. However, in order to take into account all requirements of functionality, safety, maintenance and repair, investigations were undertaken to make appropriate decisions about the ventilation. In the course of the current design work, simulation calculations were performed to determine the conditions to be expected in the running tunnels and cross-passages and optimise the necessary cooling of the service rooms. This made it possible to specify many cross-passages with technical equipment, which can be actively ventilated. Only those cross-passages with such large heat losses that a mechanical ventilation system is inadequate are air conditioned. In the next step, the developed ventilation and cooling concept for closed services rooms in cross-passages was evaluated and further optimised in detail regarding the lifecycle costs.

fahrungen, eine steigende Priorität. Bei laufenden und zukünftigen Projekten müssen daher so früh wie möglich Aspekte der bahntechnischen Ausstattung in die Grundlagenentscheidungen einfließen, um die Anlagen auf ein erforderliches Minimum reduzieren zu können.

2 Die Koralmbahn Graz–Klagenfurt

Bei der Südstrecke mit dem Semmering-Basistunnel und der Koralmbahn handelt es sich um einen Teil des rund 1.800 km langen Baltisch-Adriatischen Verkehrskorridors des transeuropäischen Verkehrsnetzes (TEN-T/Trans-European Network-Transport) [1], [2].



Bild 1 Koralmbahn Graz-Klagenfurt

Das Neubauprojekt Koralmbahn als Hochleistungsstrecke mit einer Länge von rund 127 km verbindet die Landeshauptstädte der Steiermark und Kärntens (Bild 1). Diese mit geringfügigen Steigungen trassierte Strecke ergibt eine Wegverkürzung von derzeit rund 230 auf etwa 130 km. Die Fahrzeit verkürzt sich von gegenwärtig rund 3 h auf <1 h zwischen Graz und Klagenfurt [3], [4].

3 Der Koralmtunnel

3.1 Allgemeines

Das Kernstück der Koralmbahn stellt mit einer Länge von 32,9 km und maximalen Überlagerungen von ca. 1.200 m der Koralmtunnel (Bild 2) dar. Er ist derzeit der sechst längste Eisenbahntunnel der Welt, besitzt zwei einspurige Fahrtunnel und eine Nothaltestelle mit einer Länge von rund 900 m in Tunnelmitte.

Der aerodynamisch freie Tunnelquerschnitt wurde bezüglich der Baukosten im Zusammenhang mit dem Traktionsstromverbrauch, den erreichbaren Reisegeschwindigkeiten, den Außen- und Innendruckänderungen am und im Zug optimiert und variiert zwischen 42,7 und 51,8 m².

Querschläge in Abständen von 500 m dienen einerseits als Fluchtwege von der Ereignisfall in die sichere, ereignisfreie

Röhre, andererseits als Unterbringungsort der für den Betrieb erforderlichen technischen Infrastruktur.

3.2 Lüftung

Lange Bahntunnel, wie auch der Koralmtunnel, werden meist mit einem mechanischen Lüftungssystem ausgestattet, um ein Tunnelklima in den Fahrtunneln zu erzielen, das einen möglichst sicheren und störungsarmen Bahnbetrieb ermöglicht und die Einhaltung der im Tunnelsicherheitskonzept definierten Schutzziele garantiert. Beim Koralmtunnel wird zwischen den drei folgenden Szenarien unterschieden.

3.2.1 Normal- bzw. Regelbetrieb

Ein Betrieb der Hauptlüftung ist nur in Ausnahmefällen zur Aufrechterhaltung der geforderten Mindestlufttemperaturen in einem der beiden Fahrtunnel erforderlich, da die Kolbenwirkung der Züge und die lokal vorherrschenden meteorologischen Bedingungen, z. B. Portaldruckdifferenzen, für einen regelmäßigen Luftaustausch in den Fahrtunneln sorgen.

3.2.2 Wartungs-, Instandhaltungs- und Erhaltungsbetrieb

Bei eingeschränkt geführtem Zugverkehr, wenn z. B. eine Röhre für Instandhaltungstätigkeiten gesperrt ist, während in der zweiten Röhre ein Gleiswechselbetrieb durchgeführt wird, muss ein

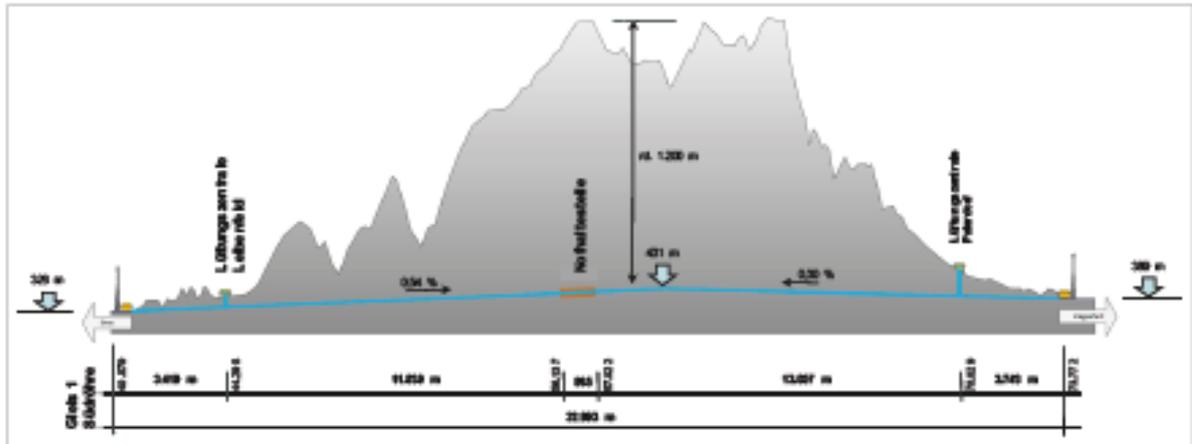


Bild 2 Längsschnitt des Koralmtunnels



Bild 3 Aufbau und Funktionsweise einer Nothaltestelle

3.2.3 Ereignisbetrieb

Bei einem Ereignis, z. B. einem Brand in einem Zug, fährt dieser möglichst aus dem Tunnel ins Freie, andernfalls muss der Triebfahrzeugführer den Zug im Tunnel bzw. in der Nothaltestelle (Bild 3) anhalten. In diesem Fall verlassen die Passagiere den Zug und begeben sich in den sicheren Bereich, der durch die Überdruckbelüftung rauchfrei gehalten wird.

Das für den Koralmtunnel geplante Lüftungssystem erfüllt die Anforderungen an die Lüftung [5], da in die beiden portalnah oberirdischen Lüftungszentralen jeweils zwei Axialventilatoren mit je 180 m³/s sowie Kanalabsperklappen (Lamellenklappen) am Fuß der vertikalen Lüftungsschächte mit Höhen von 53 m im Schacht Leibenfeld und 121 m im Schacht Paierdorf eingebaut werden (Bild 4). Zusätzlich werden Lüftungsbybässe in der Nothaltestelle installiert.

Da die Ventilatoren teilverseibel ausgeführt sind, ist es auch möglich, diese als Abluftventilatoren mit reduziertem Abluftvolumenstrom von bis zu 60 % des maximalen Zuluftstroms, z. B. bei Instandhaltungsarbeiten, zu betreiben, um bereits vorhandene Grundströmungen in den Tunnelröhren zu unterstützen.

kontinuierlicher Luftaustausch gewährleistet werden, um eine ausreichende Verdünnung der Schadstoffe, z. B. bei dieselbetriebenen Erhaltungsfahrzeugen, zu garantieren. Zudem muss auch die stetig anfallende Abwärme aus den Querschlägen abtransportiert werden.

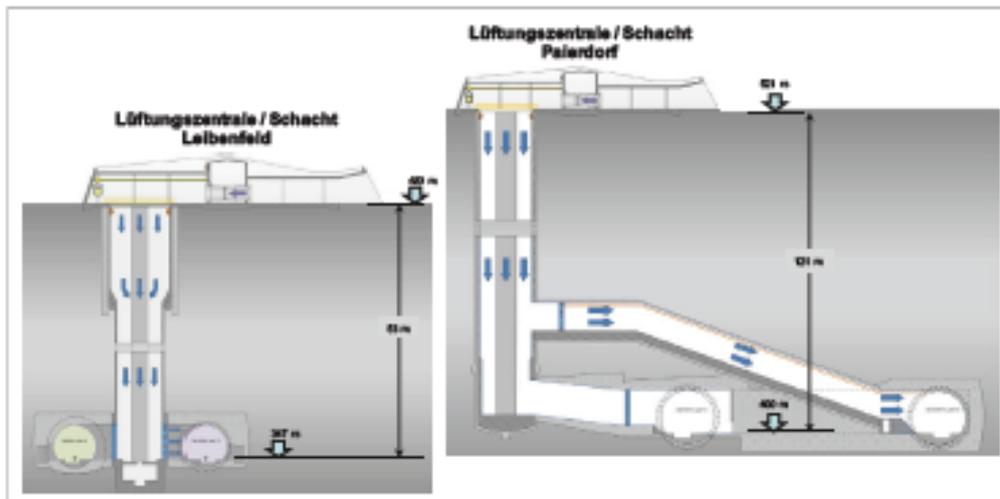


Bild 4 Schnitte durch die Lüftungszentralen bzw. -schächte Leibenfeld und Paierdorf

4 Bahntechnische Tunnelausstattung von langen Eisenbahntunneln

4.1 Allgemeines

Die technische Ausstattung bzw. Ausrüstung eines Bahntunnels ist ein Balanceakt zwischen den unterschiedlichsten und teilweise konträren Forderungen, die sich während des Baus, des Bahnbetriebs und bei der Erhaltung und Erneuerung ergeben. Festlegungen, die in einem sehr frühen Projektstadium getroffen werden, haben oft weitreichende Auswirkungen. Wenn möglich, sollten also diesbezügliche Entscheidungen erst getroffen werden, wenn alle damit verbundenen Auswirkungen in vollem Umfang erkannt und behandelt wurden. Die bahntechnische Ausstattung des Koralmtunnels ist der Höhepunkt nach rund 20 Jahren Planungs- und Bautätigkeiten.

4.2 Technische Einrichtungen in den Querschlägen

Die Hauptelemente der Ausrüstung eines Bahntunnels umfassen u. a. den Oberbau, die Lüftung, die Oberleitung, die Stromversorgung in den Bereichen von 50 und 16,7 Hz, Funk-, Fernwirk-, Leit- und Sicherungstechnik sowie auch Spezialausrüstungen wie Tunneltüren.

Um Wartungsarbeiten in den Fahrrohren und damit verbundene erhöhte Betriebseinschränkungen zu vermeiden, wird versucht, die Bahntechnik zu vereinfachen und vor allem in den Querschlägen zwischen den beiden Fahrrohren zu konzentrieren [6] [7].

4.2.1 Technische Räume

Die Aufstellung der Anlagen erfolgt in geschlossenen und vom Tunnel baulich getrennten Räumen. Die durch die technischen Installationen verursachte Abwärme muss aus den Querschlägen je nach den lokalen Randbedingungen mittels aktiver Lüftung oder Kühlung geregelt werden.

Da im Ereignisfall der Querschlag auch weiterhin als Fluchtweg zur Verfügung stehen muss, sind entsprechende brandschutztechnische Abschottungen bzw. Klappen zwischen dem Ereignisort und dem sicheren Bereich vorzusehen.

Im Grundkonzept Technische Räume wird außerdem unterschieden in:

- Offene technische Räume: Hier werden, wie beispielsweise im Gotthard-Basistunnel, die unterschiedlichen technischen Einrichtungen nicht baulich vom Fluchtbereich getrennt in eigenen Räumen untergebracht, sondern direkt im Querschlag.
- Geschlossene technische Räume: Hier werden zusammengehörige Anlagenteile, wie z. B. Mittelspannungs-, Niederspannungs- und Telekommunikationsanlagen, in jeweils eigenen Räumen bzw. getrennten Brandabschnitten untergebracht. Eine Variante, die vorseiten der ÖBB schon seit längerem verfolgt und bereits mehrfach, u. a. im Wienerwaldtunnel, umgesetzt wurde.

4.2.2 Technische Zonen

Dieser Ansatz beruht auf einem (Bild 5a) oder zwei (Bild 5b) Querschlagsabschlüssen, die sowohl brandschutztechnisch als auch aerodynamisch die beiden Röhren voneinander trennen.



Bild 5 Systemdarstellungen von möglichen technischen Zonen: a) mit Schleuse und zwei Pendeltüren; b) ohne Schleuse mit mittiger Schiebetür

Die technischen Installationen werden beidseitig in Zonen, die zu den Fahrrohren hin offen sind, angeordnet. Dadurch besteht ein unmittelbarer Kontakt zu den Luftströmungen in den Fahrrohren. Durch natürliche thermodynamische Ausgleichsvorgänge wird die entstehende Abwärme mit der Luftströmung im Tunnel abtransportiert. Aktive Lüftungs- und Kühlelemente können somit entfallen.

Da sich die technischen Installationen außerhalb der brandschutztechnischen Röhrentrennung befinden, muss diese nicht mit Lüftungs- und Kühlkanälen durchbrochen werden. Technische Maßnahmen zur Gewährleistung der Brandabschnittsbildung, wie Abschottungen und Brandschutzklappen, können entfallen.

4.2.3 Entscheidung für den Koralmtunnel

Für den Koralmtunnel kam nach einem detaillierten Variantenvergleich schlussendlich die Variante „Geschlossene technische Räume“ in Betracht [6], [7].

Die Hauptnachteile von technischen Zonen liegen u. a. in der direkten Einwirkung von Druckänderungen aus dem Zugbetrieb, den zu erwartenden massiven Staub- und Schmutzeinwirkungen sowie möglichen Brandereignissen. In diesem Zusammenhang muss sowohl mit einer erhöhten Ausfallsrate der Komponenten bzw. erhöhten Wartungs- und Instandhaltungsaufwendungen als auch mit kürzeren Austauschzyklen gerechnet werden.

Außerdem schreiben einschlägige Normen und Regelwerke teilweise verbindlich Brandabschnitte vor, die unter diesen Voraussetzungen nur sehr schwer realisierbar sind.

5 Lüftung und Kühlung geschlossener technischer Räume

5.1 Allgemeines

In den einzelnen Räumen der Querschläge sind unterschiedliche Anlagen verbaut, für die wiederum unterschiedliche raumklimatische Anforderungen hinsichtlich Temperatur und Luftfeuchtigkeit bestehen. ÖBB-interne Verfahrensweisungen, z. B. hinsichtlich von Telekommunikationsanlagen [8], geben für solche Randbedingungen genaue Grenzwerte vor, deren Über- als auch Unterschreitungen zu wesentlichen Verringerungen der Lebensdauer und somit kürzeren Austauschzyklen führten.

Es ist daher erklärtes Ziel, diese unterschiedlichen Anforderungen zu erfüllen und die in Summe geringsten Aufwendungen unter Berücksichtigung der Investitions- als auch der Reinvestitionskosten zu finden. Um dafür die erforderlichen Grundlagen zu schaffen, wurden umfangreiche Klimasimulationen durchgeführt. Diese umfassen die Fahrrohren und jeden einzelnen Technikraum in jedem Querschlag und, beginnend mit der Fertigstellung des Rohbaus, die bahntechnische Ausstattung bis zum mehrjährigen Bahnbetrieb.

5.2 Klimasimulationen

5.2.1 Felstemperatur

Die Felstemperaturen werden seit Beginn der Vortriebsarbeiten erfasst (Bild 6) und stimmen sehr gut mit den Erwartungen überein, die aus Überlagerungshöhen und den ursprünglichen Simulationen entwickelt wurden.

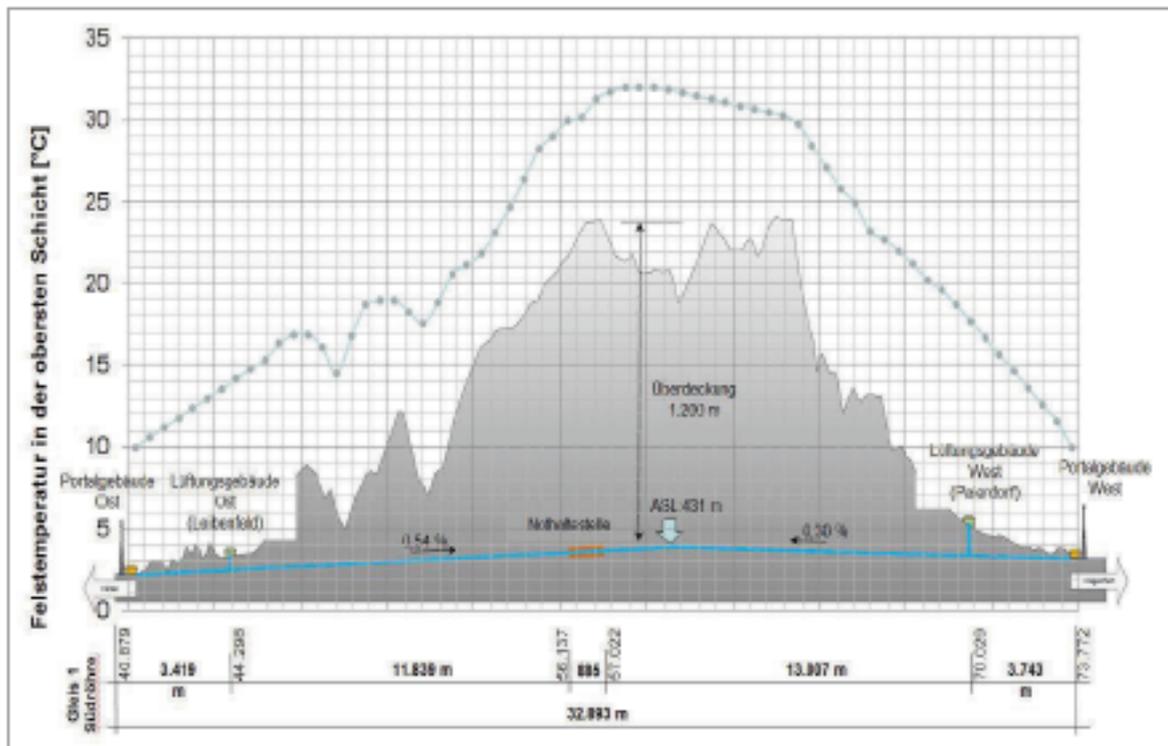


Bild 6 Felstemperaturen im Koralmtunnel

5.2.2 Verlustleistungen von Anlagen

Die Verlustleistungen wurden auf der Grundlage der aktuell vorliegenden Planungstiefe aller technischer Gewerke für jeden Raum (meist fünf Räume je Querschlag), in jedem Querschlag (rund 70 Querschläge) und unter Zugrundelegung unterschiedlicher Betriebsfälle, wie z. B. Regelbetrieb, Ausfall eines 50-Hz-Energieversorgungsnetzes, bis hin zum Ereignisfall in einem Fahrtunnel, ermittelt.

5.2.3 Temperatur- und Klimaentwicklungen In den Fahrtunneln

Um die Gegebenheiten möglichst real nachzubilden, wurde der Betrieb der unterschiedlichen Lüftungssysteme der Bau- und Betriebslüftung mit allen Wärmequellen sowie realen meteorologischen Messdaten aus den vergangenen Jahren berücksichtigt. Neben den eingebrachten Frischluftmengen und dem Aufbau der Tunnelschale (Beton, Isolierung, Spritzbeton, Fels) bis in eine Tiefe von 280 m hat auch der thermodynamische Zustand (Temperatur und relative Luftfeuchte) der eingebrachten Frischluft

Auswirkungen auf die Abkühlung bzw. Erwärmung der Betonschale und teilweise des dahinterliegenden Felses. Die Strömungssimulation wurde mit einer entsprechenden Software durchgeführt [9].

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Wandtemperatur der Betoninnenschale beispielsweise innerhalb eines Zeitraums von zwei Jahren während der bahntechnischen Ausrüstung um ca. 2 bis 7 °C (Bild 7a) verringert. Auch nach der Inbetriebnahme des Koralmtunnels verändern sich die Wand- und Betontemperaturen der Fahrtunnel (Bild 7b) in Abhängigkeit von den bekannten Bahnbetriebsszenarien und meteorologischen Eingangsdaten weiterhin kontinuierlich [10].

5.3 Wahl der Querschlagslüftung bzw. -kühlung

Die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der geeigneten Kühlmethode, aktive mechanische Lüftung oder Kühlung mittels Klimageräten, für die Technikräume in den Querschlägen wurde durch detaillierte thermodynamische Simulationen gewonnen.

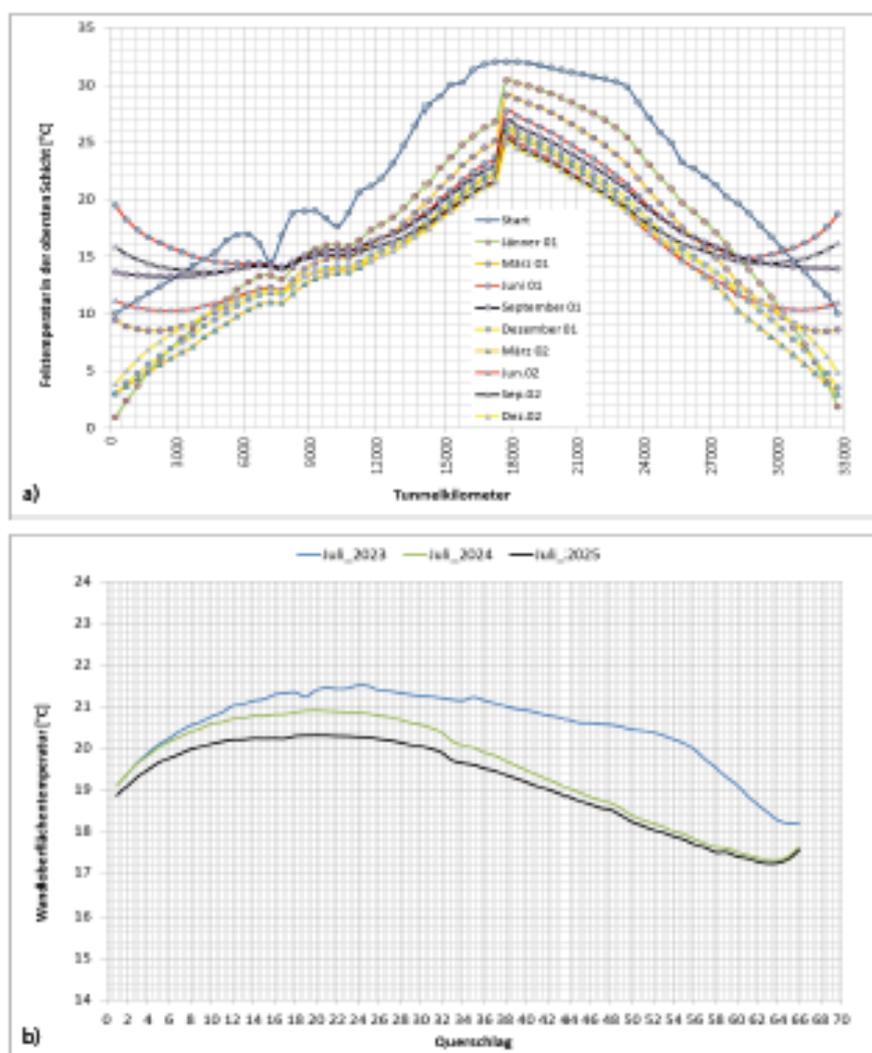


Bild 7 Zeitliche Veränderungen der Wand- und Betontemperatur: a) während der Ausrüstungsphase; b) während des anschließenden Bahnbetriebes

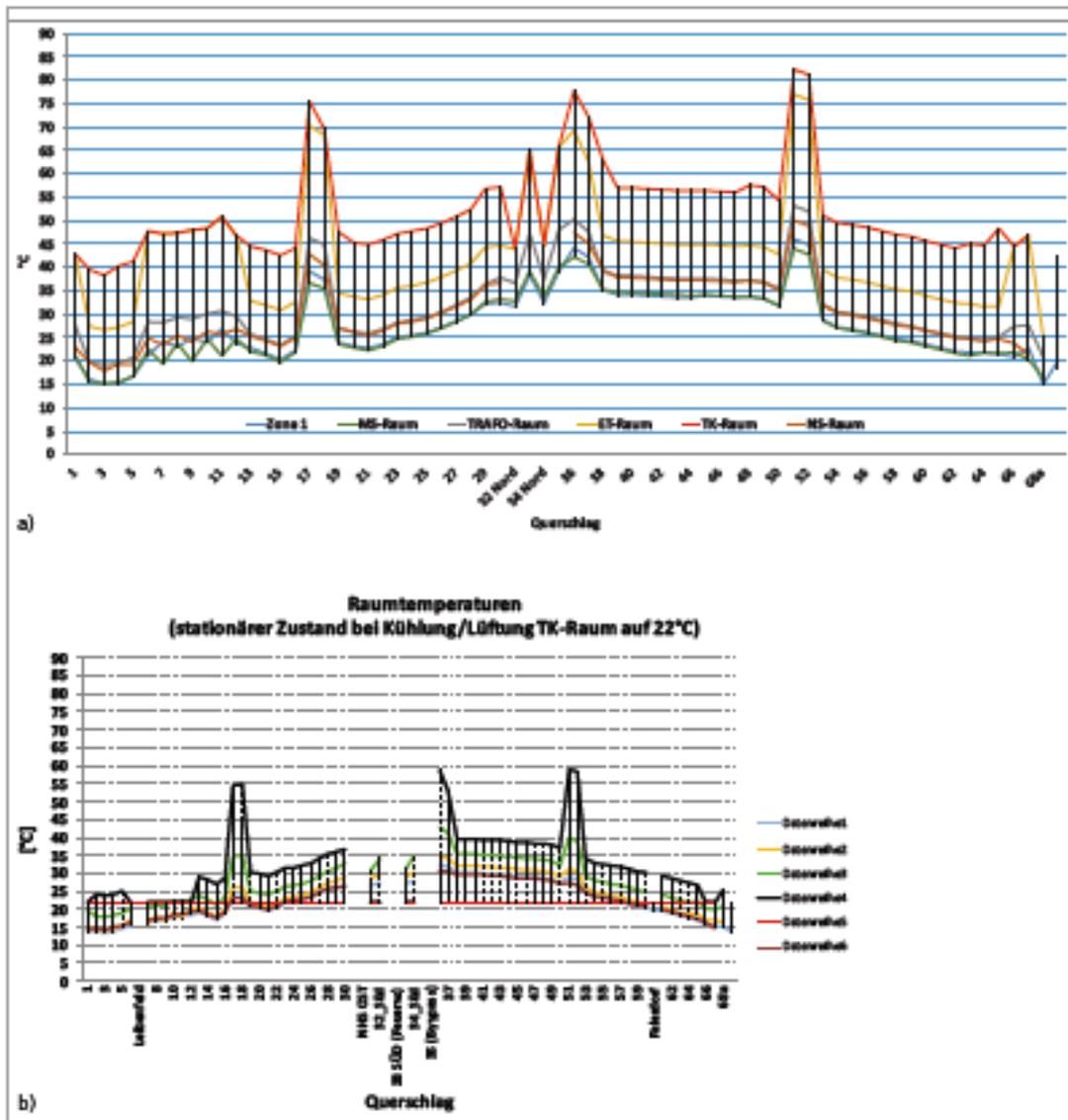


Bild 8 Darstellung der simulierten Raumtemperatur für jeden Technikraum: a) ohne Lüftung bzw. Kühlung; b) verringerte Raumtemperaturen, wenn der Telekommunikationsraum auf 22 °C gekühlt wird

Hierfür wurde eine Software zur Berechnung von Energie- und Wärmebilanzen verwendet [11].

In einem ersten Schritt wurden die zu erwartenden Raumtemperaturen für den Fall berechnet, dass keinerlei Lüftung bzw. Kühlung in den Technikräumen bzw. Querschlägen (Bild 8a) vorhanden ist. Auf Basis der festgelegten Anforderungen an Temperatur und Luftfeuchtigkeit und der Berechnungsergebnisse konnten von den rund 70 Querschlägen etwa zwei Drittel identifiziert werden, die mit einer Kühlluftmenge von maximal 1,2 m³/s so weit gekühlt werden können, dass ein sicherer Betrieb der Anlagen innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte gewährleistet ist. Die sechs Querschläge, in denen die Telekommunikationsbasisstationen untergebracht sind, und die Querschläge, in denen die Felsursprungstemperatur sehr hoch ist, müssen auf jeden Fall klimatisiert werden.

Durch die Maßnahmen der Kühlung des Telekommunikationsraums auf die geforderten 22 °C, tritt auch in den benachbarten Räumen eine massive Temperaturverringering ein (Bild 8b).

5.3.1 Ausführung der aktiven Querschlaglüftung

Bei dieser Form des Wärmeaustauschs wird Frischluft vom Fahrtunnel über einen Axialventilator angesaugt und mittels eines Blechkanals und eines zwischengeschalteten Grob- bzw. Feinstaubfilters in den Telekommunikationsraum eingebracht. Von dort strömt die erwärmte Luft über eine Wandöffnung in den nebenan gelegenen Niederspannungsraum und über eine weitere Öffnung in den Ruchweg. Bedingt durch den bestehenden Überdruck fließt die Luft in der Folge über eine Druckschutzklappe wieder zurück in den Fahrtunnel, wo sie durch den Fahrt-

wind der Züge oder durch die laufende Hauptlüftung weiter abtransportiert wird.

5.3.2 Ausführung der Querschlagskühlung

In diesem Fall erfolgt der Wärmeaustausch zuerst auf den Seiten der Fahröhre über einen Rückkühler (Ventilator mit Register) von Luft auf Wasser, in einem nächsten Schritt über eine im Fluchtweg installierte Kältemaschine von Wasser auf Kühlmittel und schlussendlich über in den entsprechenden Räumen installierte Innen- bzw. Splitgeräte wieder zurück auf die Rauminnenluft (Bild 9).

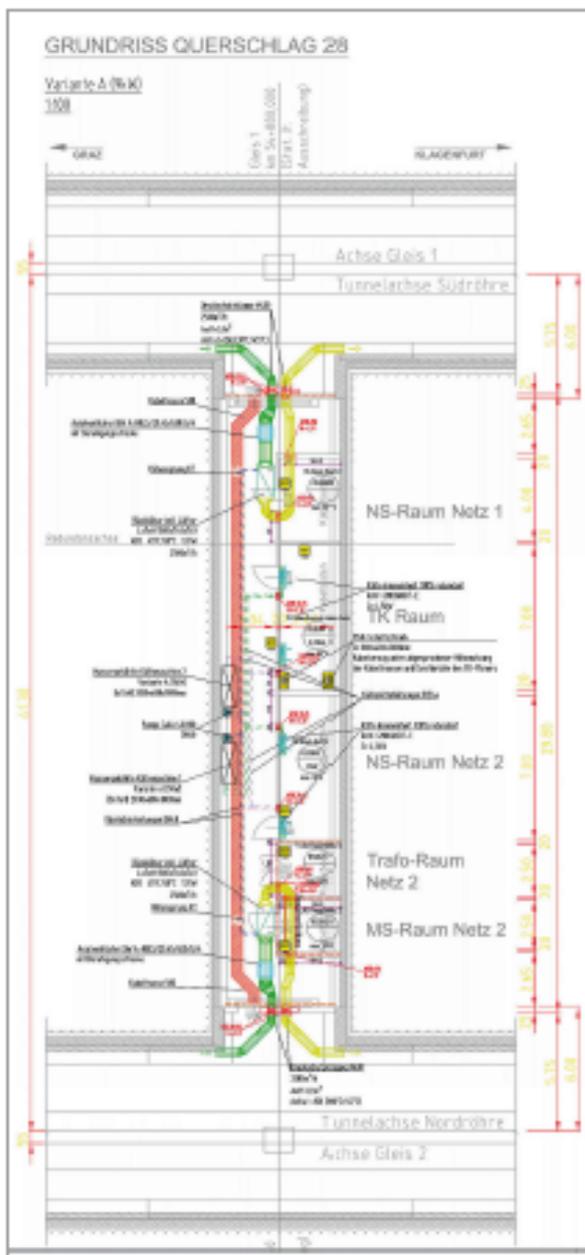


Bild 9 Schematische Darstellung der Lüftungs- und Kühlungsanlagen in einem Querschlag

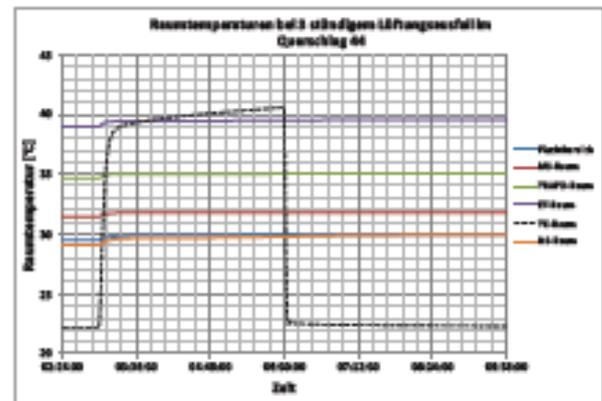


Bild 10 Raumtemperaturentwicklung in Querschlag 44 während eines dreistündigen Ausfalls der Lüftung

5.3.3 Temperaturanstieg bei einem möglichen Ausfall der Lüftung bzw. Kühlung

Die Simulation eines Ausfalls der Lüftungs-Kühlungs-Einrichtungen in Querschlag 44 brachte weitere wichtige Erkenntnisse für die Dimensionierung der Anlagen (Bild 10).

Nachdem in einem sehr kurzen Zeitraum von etwa 15 bis 20 min ein maßgebender Temperaturanstieg von rund 20 auf über 40 °C bei einer ursprünglichen Raumtemperatur von 20 °C im TK-Raum zu verzeichnen ist und diese Temperatur zu einer nachhaltigen Schädigung bis hin zu einem Ausfall der eingebauten technischen Komponenten führen würde, müssen alle Lüftungs-Kühlungs-Einrichtungen redundant aufgebaut werden. Dieser Temperaturanstieg tritt unabhängig von der Überlagerungshöhe und somit von der Felsursprungstemperatur auf und betrifft deshalb alle Querschläge.

Die Steuerung der Kühlung bzw. Lüftung unterscheidet sich je nach Betriebszustand dahingehend, aus welcher Tunnelröhre die kühlere, im Regelfall ist dies die steigende Röhre, und somit vom Wirkungsgrad her effektivere Kühlluft entnommen wird. Im Fall eines Brands in einem Querschlag wird die gesamte Belüftung deaktiviert, alle vorhandenen Brandschutzklappen geschlossen und damit mögliche negative Auswirkungen auf die benachbarten Fahrtunnel verhindert.

Im Falle des Koralmtunnels hat sich in dieser Hinsicht ergeben, dass selbst nach Ausfall eines gesamten Querschlags ein uneingeschränkter Eisenbahnbetrieb möglich ist, da alle betriebsrelevanten Systeme redundant ausgebildet werden.

6 Lösungsansätze, Ausblick und Schlussbemerkungen

Es bestehen noch zahlreiche Möglichkeiten, die bisher gewonnenen Erkenntnisse, auch unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten für die Errichtung, Wartung, Instandhaltung, den Austausch und die Erneuerung, zu variieren (Tabelle 1) und damit eine gesamtheitlich optimale Lösung zu finden.

Die aktuelle Planung der bahntechnischen Ausstattung des Koralmtunnels hat nun einen Detaillierungsgrad erlangt, mit dem es möglich ist, eine diesbezügliche Untersuchung anzustrengen.

Diese Analyse wird sicherlich keine grundsätzliche Veränderung der getroffenen Ansätze bzw. Entscheidungen mit sich

Maßnahme/Möglichkeit	Auswirkungsbeispiele	
Erhöhung der geforderten maximalen Raum- und Gerätetemperatur um ... °C	+	Generelle Verringerung der Kühlungsanfordernisse
	+	Verringerter Gerätebedarf = geringere Investitions-, Wartungs- und Energiekosten usw. bei aktiven Lüftungsinstallationen
	+	Verringerter Luftdurchsatz bei der aktiven Kühlung = längere Filterstandzeiten
	-	Kürzere Austauschzyklen von elektronischen Geräten, Batterien, usw.
Alle Querschläge werden gekühlt ausgeführt	+	Minimierung des Staubeintrags in die Technikräume
	+	Keine Wartung oder Austausch von Filtern
	+/-	Prüfung der Machbarkeit und Verwirklichung der Lösung aufgrund teilweise begrenzter Raumverhältnisse
	-	Erhöhter Gerätebedarf = erhöhte Investitions-, Wartungs- und Energiekosten usw. bei den Kühlinstallationen
Die Eingangsparameter anfallender Verlustleistungen wurden zu hoch eingeschätzt	-	Geplante Geräte sind überdimensioniert und nicht optimal ausgelastet
	+	Zukünftige Entwicklungen im Bereich von Telekommunikationsanlagen mit zu erwartenden erhöhten Verlustleistungen sind somit schon abgedeckt
	+	Zukünftigen Klimaentwicklungen (Erdenwärmung) kann leichter begegnet werden
Die Eingangsparameter anfallender Verlustleistungen wurden zu gering eingeschätzt	-	Geplante Geräte sind unterdimensioniert und somit überlastet
	-	Erhöhter Luftdurchsatz bei aktiver Lüftung erforderlich = kürzere Filterstandzeiten

Tabella 1 Mögliche Varianten von Eingangsparametern

bringen, sollte aber in vielen Teilbereichen eine weitere Optimierung und somit Verringerung der Gesamtkosten, vor allem auch aus der Sicht der zukünftigen Betreiber des Koralmtunnels, mit sich bringen.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVI): The Baltic Adriatic Axis, Element of the future European TEN-T Core Network, 2010.
- [2] Bodewig, K.: Baltic-Adriatic – Second Work Plan of the European Coordinator. European Commission, Directorate General for Mobility and Transport, 2016.
- [3] ÖBB-Infrastruktur AG: Durchbruch in die Zukunft – Der Koralmtunnel, 2012.
- [4] ÖBB-Infrastruktur AG: The Koralm Railway – A part of the new Southern Railway Line, 2012.
- [5] Bacher, M. et al.: Ventilation and Safety Concept of the Emergency Stop Station and the Cross Passages of the 33 km long Koralm Rail Tunnel. ISAVFT, 2017.
- [6] Gruner AG: Vertiefende Systementwicklung Koralmtunnel – Konzept zur Lüftung und Kühlung der Querschläge. Bericht 07-01, 2008.
- [7] Gruner AG: Vertiefende Systementwicklung Koralmtunnel – Querschlagskonzept. Bericht 05-03, 2011.
- [8] ÖBB-Infrastruktur AG: Informationssicherheits-Management-system – Physische Sicherheit, Verfahrensweisung.
- [9] Software IDA-Tunnel: Version 4.5 build 1, EQUA Simulation AB.
- [10] Suter, D., Rudolf, C., Lugnbühl, P.: Erfahrung und Erkenntnisse aus der Instandhaltung und der Störungsbewältigung aus fast zehn Jahren Betrieb des Lötschberg-Basistunnels. STUWA-Tagung Dortmund 2015.
- [11] Software EnergyPlus: Version 8.7, U.S. Department of Energy 2016.