Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 130 (2004)
Heft: 47: San Bernardino

Artikel: Neue innere Werte im vierzigjährigen Tunnel
Autor: Rota, Aldo
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108468

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

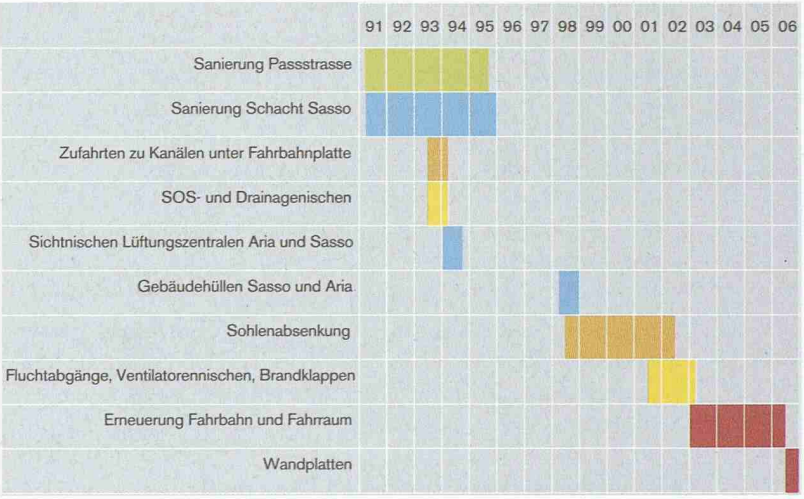
Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Aldo Rota

Neue innere Werte im vierzigjährigen Tunnel

Die Bausubstanz des 1967 eröffneten Strassentunnels durch den San Bernardino muss dringend erneuert werden. Tausalze, Abgase, die harten klimatischen Bedingungen auf 1600 m ü. M. sowie die stark gestiegene Verkehrsbelastung haben dem Tunnel so zugesetzt, dass ein sicherer Betrieb längerfristig nicht mehr gewährleistet werden kann. Die schrittweise erfolgenden Arbeiten haben 1991 begonnen und können im Jahr 2006 abgeschlossen werden. Gegenwärtig tritt die arbeitsintensive Phase der Fahrbahnerneuerung in die zweite Halbzeit.



1
Bauprogramm der Tunnelsanierung (Bilder: Tiefbauamt Graubünden)

Erst nach Beginn der Projektierungsarbeiten für den San-Bernardino-Tunnel wurde Anfang der 1960er-Jahre die winterliche Schwarzräumung der Strassen mittels Streusalz in grossem Massstab praktiziert. Aus heutiger Sicht ist das ein Hauptgrund dafür, dass die in Stahlbeton erstellte Fahrbahnplatte dieses Tunnels einen ungenügenden Schutz gegen die Einwirkungen des Tausalzes aufweist. Bereits kurz nach der Inbetriebnahme im Jahr 1967 waren die schädigenden Einflüsse des Tausalzes, der Abgase und der betonaggressiven Bergwässer auf die Bausubstanz des Tunnels erkennbar. Eine spezifische Gefährdung des Bauwerks ist auf die konstruktive Besonderheit zurückzuführen, dass der Frischluftkanal unter der Fahrbahn angeordnet wurde: Die Fahrzeuge rollen deshalb über eine eigentliche Brückenkonstruktion im Tunnel, die in Nuten im Gewölbe und auf Betontrennwänden beidseits des Frischluftkanals aufliegt (Bild 2). Vor allem diese Betonplatte hat unter der Beanspruchung durch den Verkehr (mittlerweile sind etwa 65 Millionen Fahrzeuge durch den Tunnel gefahren) und insbesondere unter dem harten Klima und dem Tausalz stark gelitten.

Überraschungen unter der Fahrbahn

In den Jahren 1985/86 wurde ein umfassendes Untersuchungsprogramm unter Federführung der Empa durchgeführt mit dem Ziel, Angaben über den Zustand der Tunnelanlage sowie Grundlagen für deren Erneuerung zu erhalten. Wie die Schadenbilder zeigten, bestand insbesondere bei der Fahrbahnplatte und den Sockeln der Wandplatten akuter Handlungsbedarf. Überraschend für die Fachleute war dabei die Erkenntnis, dass sich die Schäden nicht auf die Endbereiche beschränkten, sondern auf der gesamten Tunnellänge auftraten. Man musste zur Kenntnis nehmen, dass Wasser und Tausalz (sowie weitere Schadstoffe) durch den Verkehr über mehrere Kilometer in das witterungsgeschützte Bauwerk verfrachtet wurden und Bewehrungskorrosion an unerwarteten Stellen auslösen konnten. Eine Erkenntnis, die seither an zahlreichen Tunnels und Galerien, nicht nur im alpinen Raum, bestätigt wurde und meist mit unerwartet aufwändigen Instandsetzungsmassnahmen verbunden war.

Als eigentliche Schwachstellen bezüglich der Korrosionsgefährdung der «Brücke im Tunnel» erwiesen sich die Dilatationsfugen in der schlaff bewehrten Fahrbahnplatte. Durch die undichten Fugen gelangte das chloridhaltige Wasser an die Untersicht der Platte, wo die Betonüberdeckung der Bewehrungen wesentlich geringer ist als in der Fahrbahn, so dass die Korrosion in diesen Bereichen frühzeitig einsetzte. Die schwerwiegendsten Korrosionsschäden an der Fahrbahnplatte waren daher vom Verkehrsraum aus nicht erkennbar und breiteten sich während längerer Zeit ungestört aus.

Der Korrosion auf der Spur

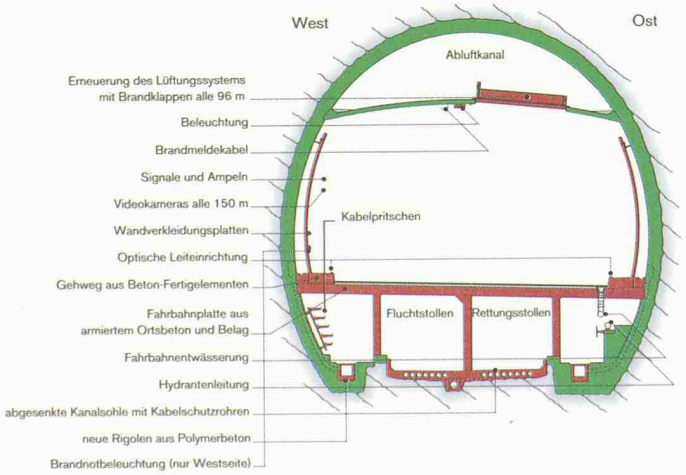
Eine zentrale Rolle bei der Aufdeckung und späteren Quantifizierung der verborgenen Korrosionsschäden und der Identifikation latent gefährdeter Bereiche spielte die damals neue Technik der elektrochemischen Potenzialfeldmessung. Diese ursprünglich in den USA entwickelte zerstörungsfreie Untersuchungsmethode für Stahlbetonbauwerke war am IBWK (Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion) der ETH Zürich für die Anwendung an Kunstbauten in der Schweiz adaptiert worden, als sich Anfang der 1980er-Jahre die zerstörerischen Auswirkungen des intensiven Tausalzeinsatzes auf die Verkehrsinfrastruktur abzuzeichnen begannen. Ohne den breit angelegten Einsatz der damals noch unerprobten Potenzialfeldmessung wäre das Ausmass der Korrosionsschäden an der Fahrbahnplatte (und damit der Umfang der Instandsetzungsarbeiten, die gegenwärtig ausgeführt werden müssen) wohl nicht rechtzeitig erkannt worden. Die erfolgreichen Messkampagnen im San-Bernardino-Tunnel waren gewissermassen das «Gesellenstück» der neuen Untersuchungsmethode, die in der Folge bei der Überprüfung und Instandstellung zahlreicher Brücken und anderer Kunstbauten in der Schweiz zum Einsatz kam und heute zum anerkannten Instrumentarium für die Erhaltung von Bauwerken gehört.

Eine vierzigjährige Röhre wird aufgefrischt

Umfangreiche Untersuchungen in den Jahren 1987 bis 1991 über das genaue Ausmass der 1985/86 festgestellten Schäden am Tunnel zeigten, dass nur eine gründliche Sanierung den sicheren Betrieb auch längerfristig gewährleisten kann. Im Zeitpunkt der Erstellung entsprachen die Sicherheitseinrichtungen im Tunnel den damaligen Standards. Als Folge der in den letzten Jahren im In- und Ausland aufgetretenen schweren Tunnelbrände – nicht zuletzt auch eine Folge der Verkehrszunahme, insbesondere des schweren Güterverkehrs – werden heute zusätzliche Sicherheitseinrichtungen wie Fluchtstollen, steuerbare Brandklappen, Strahlventilatoren und spezielle Signalisationen als Sicherheitsstandard gefordert. Im Rahmen der baulichen Erneuerung werden die entsprechenden Installationen auf den aktuellen Stand gebracht.

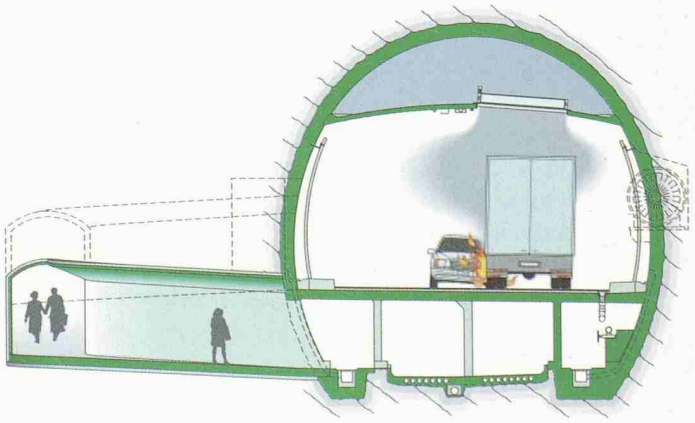
Um den Verkehr bei allfälligen Tunnelsperrungen infolge der Erneuerungsarbeiten umleiten zu können, erfolgte in den Jahren 1991 bis 1995 als Erstes die Instandsetzung der Passstrasse (Bild 1). Parallel dazu wurde im gleichen Zeitraum der starke Schäden aufweisende Lüftungsschacht Sasso auf der Südseite des Passes instandgestellt. Nach intensiven Projektierungsarbeiten wurden zuerst im Jahre 1993 bei den Tunnelportalen neue Zugänge zu den Kanälen unter der Fahrbahnplatte erstellt. In den Jahren 1993 und 1994 folgten die neuen SOS-Notruf-Nischen sowie Drainage- und so genannte Sichtnischen bei den zwei Lüftungszentralen. Sparbemühungen bewogen in der Folge den Bund, die Finanzierung der Hauptarbeiten für die Tunnelerneuerung zurückzustellen. Mit der projektierten Absenkung der Tunnelsohle konnte deshalb erst 1998 begonnen werden. Auf Grund der Tunnelbrandkatastrophen im Frühjahr 1999 in Frankreich und Österreich sowie wegen Änderungen beim Lüftungsregime wurde das ursprüngliche Instandstellungsprojekt in einigen zentralen Aspekten modifiziert:

- Verwendung der beiden Mittelkanäle unter der Fahrbahn als Flucht- und Rettungsstollen sowie Erstellung zusätzlicher Rampenstollen als Verbindung zwischen Fahrraum und Fluchtstollen (Bild 3).
- Erstellen von neuen Abluftöffnungen mit Brandklappen in der bestehenden Zwischendecke des Tunnels anstelle der bisherigen Linienabsaugung.
- Installation von je sechs Strahlgebläsen in neuen Parament-Nischen bei den zwei unterirdischen Lüftungszentralen, um im Brandfall die Längsströmung der Tunnelluft besser kontrollieren zu können.



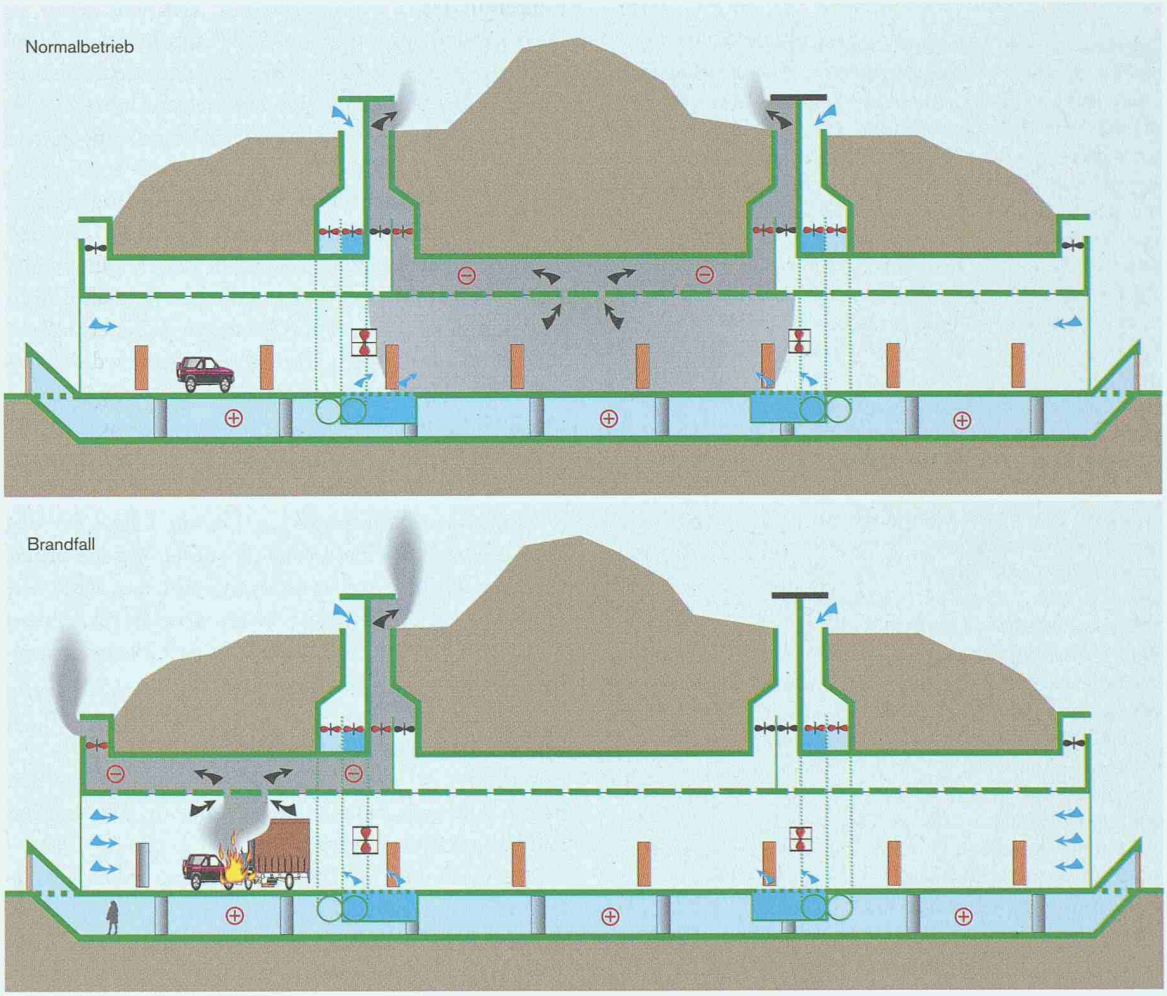
2

Sanierungs- und Umbauarbeiten (rot hervorgehoben) im Normalprofil



3

Bauliche Massnahmen für die Erhöhung der Sicherheit: links Fluchtabgang in den Flucht- und Rettungsstollen (alle 350 bis 375 m), oben Brandklappen von 4.8 m² Querschnitt alle 96 m, rechts Gruppen von je 6 Strahlventilatoren bei den Drittelspunkten



4
Lüftungsschema für Normalbetrieb (oben) und im Brandfall (unten). Im Flucht- und Rettungsstollen herrscht in beiden Fällen ein Überdruck gegenüber dem Fahrraum im Tunnel

Die Bauarbeiten für die Erneuerung der Fahrbahnplatte begannen im Juni 2003 und werden bis voraussichtlich 2006 dauern. Anschliessend erfolgt als letzte Tätigkeit das Versetzen der neuen Wandverkleidungsplatten aus Betonfertigteilen. Die Gesamterneuerung des San-Bernardino-Tunnels inklusive aller Fahrrauminstallationen wie Signale, Überwachungsgeräte etc. wird im Frühjahr 2007 beendet sein und Investitionen von voraussichtlich 236 Mio. Fr. erfordern.

Der Zuluftstollen wird zum Sicherheitsstollen

Aus Überlegungen für die Verbesserung der Tunnelsicherheit und den Erfahrungen mit den Tunnelkatastrophen Ende der 1990er-Jahre folgte, dass ein separater Fluchtstollen bei einem Bauwerk der Länge des San-Bernardino-Tunnels dringend notwendig ist. Der infolge der Neukonzeption der Tunnellüftung nicht mehr benötigte Zuluftstollen unter der Fahrbahnplatte konnte mit relativ bescheidenem Aufwand zum Fluchtstollen umgenutzt werden.

Für diese neue Funktion musste in den Jahren 1998 bis 2002 die bestehende Betonsohle im Kanal unter der Fahrbahnplatte um rund 20 cm abgesenkt werden. Gleichzeitig wurde auch ein neues, sicheres Kabeltrassee in der Sohle realisiert (unter anderem für eine bestehende 50-kV-Hochspannungsleitung). Damit der Verkehr im Tunnel durch die Bauarbeiten nicht gestört wurde, erfolgte die Erschliessung der Baustelle durch den ehemaligen Lüftungsstollen und über die Ausstellbuchten im Tunnel. Die ursprüngliche Raumhöhe von lediglich 183 cm erschwerte die Bauarbeiten unter der Fahrbahnplatte wesentlich.

Für den Abgang aus dem Fahrraum in den Flucht- und Rettungsstollen wurden im Abstand von 350 bis 375 m Stollen mit Rampen angeordnet. Diese Verbindungsstollen mussten im bergmännischen Sprengvortrieb ausgebrochen werden, wobei der Vortrieb in den Orthogneisen und Paragneisen der Aduladecke problemlos verlief. Die Felssicherung erfolgte mit Spritzbeton, auf eine Abdichtung mit einer Kunststoff-Folie konnte auf Grund des geringen Bergwasseranfalls verzichtet werden.

Halbquer- statt Querlüftung

Das ursprüngliche Querlüftungssystem wurde aus energetischen Gründen auf Halbquerlüftung umgestellt. Dabei strömt Frischluft nur noch punktuell bei den

Der erste grosse Strassentunnel in den Alpen

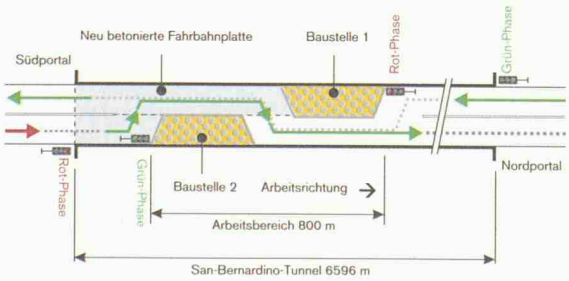
(ar/tba.gr) Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Frage einer ganzjährig befahrbaren Strasse über oder durch die Bündner Alpen geprüft. 1935 arbeitete ein Ingenieurbüro auf eigene Initiative ein erstes Projekt aus, das schliesslich zum generellen Projekt von 1953 führte. Die Bemühungen Graubündens für die Realisierung eines Strassentunnels durch den San Bernardino wurden in der Ostschweiz, in Süddeutschland, Norditalien und in Vorarlberg lebhaft unterstützt. Anfang 1961 genehmigte der Bundesrat den Bau des bereinigten Projekts im Rahmen des Nationalstrassen-Programmes.

Im Juli 1961 werden die Arbeiten am San Bernardino in Angriff genommen. Der Tunnelausbruch erfolgt von Anfang an im Sprengvortrieb im Vollquerschnitt von rund 85 m² Fläche. Die durchschnittliche Vortriebsleistung beträgt im Süden 315, im Norden 85 m pro Monat. Die dünnbankige, plattige und schiefrige Struktur der Gesteine mit Neigung zu Niederbrüchen und Ablösung von Platten bedingt die Sicherung der Kalotte mit Felsankern. Pro Laufmeter Tunnel werden im Durchschnitt 7, maximal 20 je zwei bis drei Meter lange Felsanker benötigt. In den gebrächen Zonen im Nordabschnitt müssen insgesamt 250 Laufmeter Tunnel mit Stahlbogen gesichert werden.

Am 10. April 1965 erfolgt bereits der Durchstich des Tunnels. In einer zweiten Arbeitsphase werden von der Tunnelmitte aus die Sohle gereinigt und betoniert und das Betongewölbe erstellt. Die heute in Strassentunnels übliche Abdichtung mit einer Kunststoff-Folie ist in den 1960er-Jahren noch kein Thema. Die auf den Seitenwänden des Frischluftkanals und dem Tunnelgewölbe ruhende Fahrbahnplatte ist im Herbst 1966 fertig eingebaut. Es folgen die Fertigstellungsarbeiten, vom Betonieren der Wandverkleidungssockel über die Montage der Wandverkleidungen bis zum Einbau des Fahrbahnbelages und der Installation der elektromechanischen Einrichtungen. Am 1. Dezember 1967 kann das monumentale Bauwerk feierlich dem Verkehr übergeben werden. Die damaligen Baukosten von 150 Mio. Fr. entsprechen einem heutigen Wert von über 400 Mio Fr.

Projektinformation

Im Beitrag sind ausgewählte Inhalte der Website des Tiefbauamtes Graubünden zusammengefasst. Weitere Informationen und Bilder zur Sanierung des San-Bernardino-Tunnels unter:
info@tba.gr.ch; www.tiefbauamt.gr.ch;
www.tiefbauamt.gr.ch/aktuell/tbainfos.htm
www.tiefbauamt.gr.ch/aktuell/index.htm; Tel. 081 257 37 15



5

Die Verkehrsführung während der Erneuerung der Fahrbahnplatte

unterirdischen Lüftungszentralen Aria und Sasso in den Tunnel ein, so dass kein Zuluftstollen mehr benötigt wird. Die Tunnelbrände im In- und Ausland führten im Weiteren dazu, dass neu in der Zwischendecke im Abstand von 96 m Brandklappen von 4.8 m² Querschnittfläche eingebaut wurden. Die Lüftung erfolgt im Normalbetrieb durch das Einströmen von Frischluft über den Fahrraumquerschnitt bei den Portalen und soweit erforderlich durch punktuelle Frischluftzufuhr bei den unterirdischen Zentralen (Bild 4 oben). Durch Öffnen von bestimmten Brandklappen wird die Abluft durch die entsprechenden Lüftungszentralen abgesaugt. Im Brandfall stellt die Lüftung automatisch um: Im Bereich des Brandes werden auf einer Länge von 300 m insgesamt 4 Brandklappen geöffnet und die Rauchgase durch die Abluftventilatoren auf Höchststufe abgesaugt. Um die Länge der Verrauchungsstrecke zu reduzieren, wurden bei den unterirdischen Zentralen je 6 Strahlventilatoren in seitlichen Nischen angebracht. Diese helfen mit, die Geschwindigkeit der Längsströmung der Luft in Richtung Brandherd auf maximal 1.5 m/sec zu halten.

Ohne Stau zur neuen Fahrbahnplatte

Aufgrund des in den Untersuchungen festgestellten Schadenausmasses stand schon frühzeitig fest, dass die Fahrbahnplatte auf der gesamten Tunnellänge vollständig ersetzt werden musste. Die Ausführung dieser Massnahme machte angesichts der verlangten Aufrechterhaltung des Verkehrs sehr komplexe Bauabläufe notwendig. Die jetzt zur Ausführung gelangende Variante ging aus verschiedenen detaillierten Lösungsvorschlägen hervor: In zwei sich in kurzem Abstand folgenden, versetzten Baustellen wird je eine Hälfte der Betonplatte abgebrochen, die Schalung aufgebaut, armiert und betoniert. So lässt sich der Verkehr auch während der Bauarbeiten einspurig an den Baustellen vorbei durch den Tunnel leiten.

Damit die Bauarbeiten für den Abbruch und den Neubau der Fahrbahnplatte den Verkehr im Tunnel möglichst wenig behindern, wurde ein ausgeklügeltes Verkehrsregelungskonzept erarbeitet. Grundsätzlich können die Fahrzeuge den Tunnel trotz der Arbeiten zweispurig befahren. Nur im 800 m langen Baustellenbereich muss von Sonntagabend bis Freitagmittag der Verkehr einspurig geführt werden. Die Verkehrsregelung erfolgt mittels einer Steuerung, welche die Lichtsignale am Süd- und am Nordportal sowie vor dem Baustellenbereich aufeinander abstimmt. Die Anlage ist so programmiert, dass nur vor den Tunnelportalen angehalten werden muss und der Baustellenbereich im Tunnel ohne Anhalten durchfahren werden kann. Mit der vorgesehenen, einer «grünen Welle» entsprechenden Verkehrssteuerung können die Wartezeiten an den Portalen minimiert werden. Voraussetzung ist dabei, dass sich die Verkehrsteilnehmer an die signalisierten Geschwindigkeiten halten.

rota@tec21.ch