

INSTANDSETZUNG VON TUNNELABSCHNITTEN IM HOCHTEMPERATURBEREICH AM BEISPIEL DES GOTTHARD-STRASSENTUNNELS

Andreas Henke, Lombardi AG, Beratende Ingenieure, Minusio

1. Einleitung

Die Wiederinstandsetzung des beim verheerenden Tunnelbrand vom 24. Oktober 2002 zerstörten Abschnittes des Gotthard-Strassentunnels musste unter grösstem Zeitdruck geplant und durchgeführt werden. Dank der spontanen und kompromisslosen Bereitschaft aller Beteiligten und den aus früheren Reparaturarbeiten gewonnenen Erfahrungen war es möglich, den Tunnel in weniger als zwei Monaten für die Wiedereröffnung mit demselben Sicherheitsniveau wie vor dem Brand herzurichten. Das wichtigste Element, welches zum Erfolg geführt hat, ist die geeignete Wahl der Logistik, indem geeignete und kurzzeitig verfügbare Installationen und Humanressourcen gezielt genutzt werden konnten.

2. Vorgaben an die Instandstellung

Der Brand hat das zur Zeit verkehrspolitisch sensibelste Objekt der Schweiz getroffen. Es stand daher ausser Frage, dass die Wiedereröffnung in kürzester Zeit zu erfolgen hatte. In der Zeit vor dem Brand war der Tunnel von durchschnittlich 5500 Lastwagen pro Werktag befahren worden. Dies ist vergleichbar mit dem Fréjus-Tunnel zwischen Italien und Frankreich, welcher zugleich als Ersatz für den zu diesem Zeitpunkt immer noch geschlossenen Mt. Blanc-Tunnel diente.

Eine weitere Vorgabe war, dass der Tunnel mit demselben Sicherheitsstandard wie vor dem Brand auszustatten war. Eine provisorische Eröffnung mit einem etwas reduzierten Standard, welche allenfalls in etwas kürzerer Zeit hätte bewerkstelligt werden können, wurde verworfen. Letztere kam angesichts der allgemeinen Sensibilisierung auf Tunnelbrände nicht in Frage. Rückblickend hätte es auch wenig Sinn gemacht, eine Lösung mit gestaffelter Wiederinbetriebnahme (vorerst PW, in der Folge auch wieder LW) zu wählen, da die Passstrasse während der ganzen Sperrzeit für den Personen- und leichten Lastwagenverkehr offen und normal befahrbar gehalten werden konnte.

Die dritte Vorgabe betraf die Verbesserung des Risikoprofils und hatte keinen Einfluss auf die Wiederherstellungsarbeiten: sie bestand in der Einführung des alternativen Einrichtungsverkehrs für Lastwagen.

Dem Ruf, den Tunnel erst mit einem höheren Sicherheitsstandard, wie er mit verschiedenen laufenden Projekten erreicht wird, wieder zu eröffnen, wurde nicht nachgegeben, da der Gotthardtunnel als Bauwerk nach wie vor als sicher eingestuft wird. Aber man wollte die im Sommer 2002 in Angriff genommene Realisierung der verbesserten Lüftungsfunktion dank der 2-monatigen Schliessung beschleunigen, sodass deren Inbetriebnahme um 6 Monate vorverschoben werden kann.

3. Konzept der Instandstellung

Das Konzept und die Vorgehensweise mussten in sehr kurzer Zeit im Team erarbeitet werden. Neben den sonst üblichen Akteuren „Betriebsleitung – Projektant/Bauleiter – Unternehmer“ waren im vorliegenden Fall auch die Verantwortlichen der polizeilichen Erkennungsdienste sowie die zuständigen Ämter für die Überwachung und Beurteilung der Arbeitssicherheit und –hygiene einbezogen.

Aus der Beurteilung der vorliegenden Schadensituation (siehe Kapitel 5) und der verfügbaren Mittel ergaben sich die folgenden Elemente für einen effizienten Lösungsansatz:

- Berücksichtigung der Zeit und der Mittel für die Sicherung in der "roten Zone" als Sofortmassnahme.
- Geeignete Nutzung der Zeit während den Erhebungen und Untersuchungen der wissenschaftlichen Polizeidienste (Suche nach möglichen weiteren Opfern, Spurensicherung, Schadenregistrierung an Fahrzeugen, usw.). Die eigentliche Räumung und der Wiederaufbau konnten erst nach Freigabe des Tunnels durch die Staatsanwaltschaft in Angriff genommen werden.
- Eine gemeinsam mit den massgebenden Beteiligten durchgeführte Analyse hat ergeben, dass allfällige Provisorien, Übergangslösungen oder alternative Instandstellungslösungen keine Vorteile bringen würden. So hätte z.B. eine Lösung mit vollständigem Abbruch, ohne sofortigen Wiederaufbau der Zwischendecke und provisorischer Wiederinbetriebnahme mit reduzierter Lüftungsfunktion (Längslüftung) eine kürzere Schliesszeit zur Folge gehabt, hätte aber nicht denselben Sicherheitsstandard erfüllen können, abgesehen von der Problematik der späteren definitiven Erstellung unter Verkehr. Auch wurden Lösungen mit Überbrückung der Bresche mit fehlender Zwischendecke mittels grossen aufgehängten Ventilationslütten ins Auge gefasst; jedoch nach Prüfung verworfen, weil sie weder programmlich noch technisch Vorteile gebracht hätten.
- Es musste eine Lösung gesucht werden, welche eine möglichst kurze Mobilisierungszeit benötigte: Beteiligte mit genauen Kenntnissen des Tunnels; Unternehmer, welche bereits auf dem Platz sind; Verwendung von Material, welches bereits vorhanden ist.
- Erwartungsgemäss erwies sich eine Lösung auf der Basis der Vorfabrikation in diesem Fall speziell als vorteilhaft. Der Tunnel durfte in einer ersten Periode, welche immerhin mehr als drei Wochen dauerte, nicht für die Arbeiten betreten werden. Während dieser Zeit konnten hingegen alle Planungs- und Vorbereitungsarbeiten durchgeführt werden, inkl. die Inangriffnahme der Fabrikation der vorgefertigten Teile (Beton und Aufhängegarnituren).
- Die Zwangsschliessung des Tunnels hat es erlaubt, verschiedene weitere Arbeiten und Unterhaltstätigkeiten ohne Störung durch den Verkehr auszuführen.
- Gewisse Fertigstellungsarbeiten, welche für die Sicherheit keine Bedeutung hatten (z.B. Montage der seitlichen Verkleidungswände) konnten in den Sperrnächten nach der Wiedereröffnung eingeplant werden. Dies war möglich und zumutbar, weil während den Winternächten nur ein kleines Verkehrsaufkommen verzeichnet wird.

4. Sicherung des Schadenbereichs, Räumungs- und Abbrucharbeiten

Die Sicherung der zerstörten, aber nicht eingestürzten Deckenteile erforderte vorerst eine möglichst zuverlässige Beurteilung der verbleibenden Stabilität und den Vergleich mit den statischen Ausgangswerten. Aufgrund eines Einbauplanes wurde das Material bereitgestellt. Für diesen Zweck war das Standardsortiment an Material, welches den Unterhaltsdiensten permanent zur Verfügung steht (**Abb. 1**), sehr nützlich.



Abb. 1: Vorgefertigte Stützenkonstruktion zur Sicherung der Zwischendecke. Das Material ist in den Werkhöfen jederzeit einsatzbereit und der Einbau wird von den Einsatzequipen periodisch geübt.

Der Einbau erforderte ein sorgfältiges Vorgehen, um die Sicherheit des Untersuchungsteams jederzeit gewährleisten zu können. Dabei durfte der vorgefundene Zustand der Trümmer, welcher Gegenstand der polizeilichen Erhebung war, nicht verändert werden (**Abb. 2**).

Es kam nicht ganz überraschend, dass diese Phase länger als vorgesehen dauerte. Mit einer minutiösen Planung und rigorosen Durchführung der nachfolgenden Arbeiten konnte das ursprüngliche Bauprogramm trotzdem eingehalten werden.



Abb. 2: Abstützung der einsturzgefährdeten Zwischendecke. Die Fahrzeugtrümmer durften nicht verändert werden.

5. Reinigung und Dekontaminierung

Im Rahmen des Einsatzstabs wurden die Kompetenzen für die Reinigung und die Dekontaminierung den Verantwortlichen des Tessiner Umweltschutzdepartements und dem Kantonsarzt übertragen. Diese Stellen führten eigene Untersuchungen durch und liessen sich durch die SUVA beraten. Im weiteren haben ein arbeitsmedizinisches Universitätsinstitut sowie spezialisierte Firmen die nötigen Anweisungen geliefert. Insbesondere wurden folgende Dispositionen zugrunde gelegt:

- Auf dem Gebiet der Arbeitssicherheit: Anweisungen bezüglich Atemschutz und dem Schutz der Haut (Schutzanzüge), Massnahmen betr. Arbeitshygiene und prophylaktische medizinische Untersuchungen der Belegschaft.
- Schutzmassnahmen während der Räumung der Fahrzeuge
- Schutzmassnahmen während der Nassreinigung
- Schutzmassnahmen während den Abbrucharbeiten, mit Anweisungen bezüglich der Abbruchmethoden
- Vorschriften für die Endlagerung des zu entsorgenden Materials
- Vorschriften für die permanente Überwachung der Luftqualität im Tunnel.

Im Rahmen des Einsatzstabes wirkte die Bauleitung bei der Definition der anzuwendenden Massnahmen mit und war auf der Baustelle für die Kontrolle der Einhaltung derselben verantwortlich.

6. Projekt und Ausführung der neuen Zwischendecke

Das zur Ausführung gewählte Wiederherstellungsprojekt lehnt sich an frühere Ausführungen an [1,2], musste aber an die speziellen Randbedingungen der vorliegenden Problemstellung angepasst werden, insbesondere wegen der grossen Länge der Ersatzdecke (230 m) und wegen der Notwendigkeit, die nachfolgenden Montagearbeiten im Bereich der Zwischendecke möglichst früh in Angriff nehmen zu können.

Wie aus der **Abbildung 3** hervorgeht, besteht die neue Decke aus aufgehängten vorgefertigten Betonplatten. Im Quersinn sind zwei Platten angeordnet, mit Dimensionen, entsprechend der Feldbreite, unter dem Zuluftkanal 4,8 m und unter dem Abluftkanal 3,9 m.

Die Plattenbreite in Tunnellängsrichtung beträgt 1,99 m und die Dicke, gegenüber der vorexistierenden Decke unverändert, 12 cm. Die Trennwand, welche keine Brandbeschädigungen aufwies, wurde nach sauberer Trennung von den Restteilen der zerstörten Decke (**Abb. 4, 5**) in den neuen Knoten eingebunden.

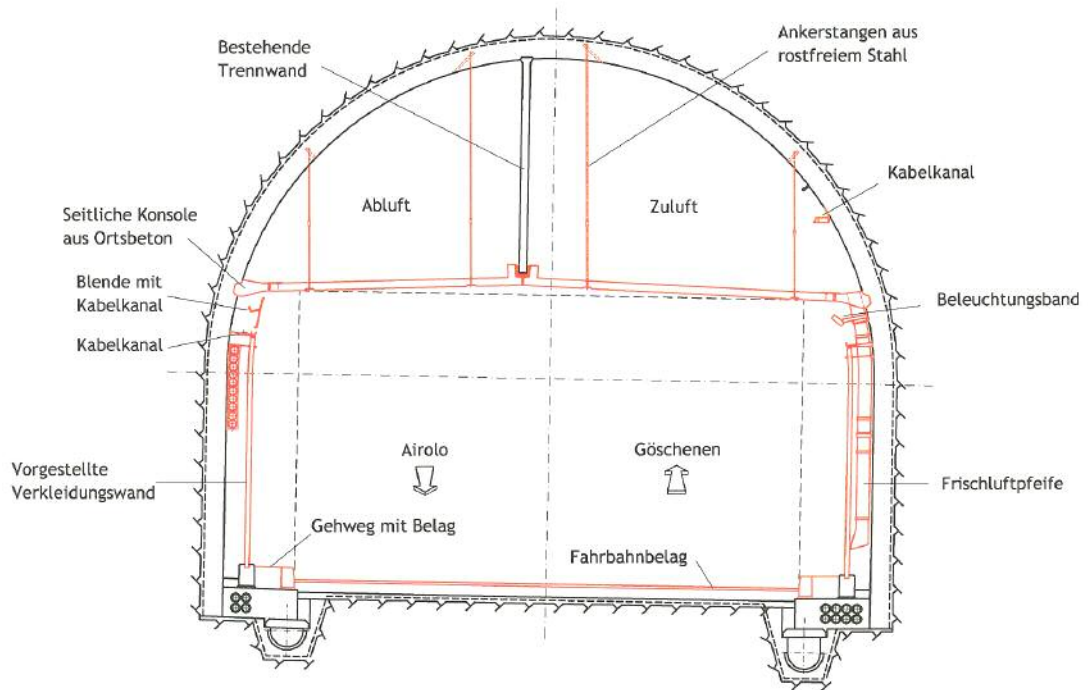


Abb. 3: Tunnelnormalprofil in der "roten Zone" mit erneutem Innenausbau.



Abb. 4: Während dem Abbruch der Decke musste die Trennwand, welche im Bauwerk verblieb, sorgfältig in ihrer Lage stabilisiert werden.



Abb. 5: Blick in das Tunnelgewölbe nach Abbruch der Zwischendecke. Man kann deutlich erkennen, dass die Fugenisolationen der Trennwand sowie die Kabelkanäle keine Brandschäden aufweisen.

Bei den beiden seitlichen Anschlüssen an das Tunnelgewölbe wurden Ortsbetonkonsolen ausgebildet (**Abb. 6, 7**). Dies hatte verschiedene Vorteile, allen voran die Möglichkeit, dass die Erstellung unmittelbar nach Freigabe des Tunnels in Angriff genommen werden konnte und die Montage der Elektroinstallationen längs des Paraments (Lichtband, Kabelkanal) nicht vom Liefertermin der Deckenelemente abhängig war. Im weiteren konnten mit der vorgängigen Ausführung der seitlichen Konsolen die Toleranzprobleme besser gelöst werden, indem die notwendige Breite für die Montage der vorfabrizierten Elemente zentimetergenau hergestellt werden konnte. Schliesslich waren die verschiedenen Durchstossungen am Deckenrand (Frischlufföffnungen alle 8 m, Kabelaufstiege) im Ortsbeton besser auszuführen.

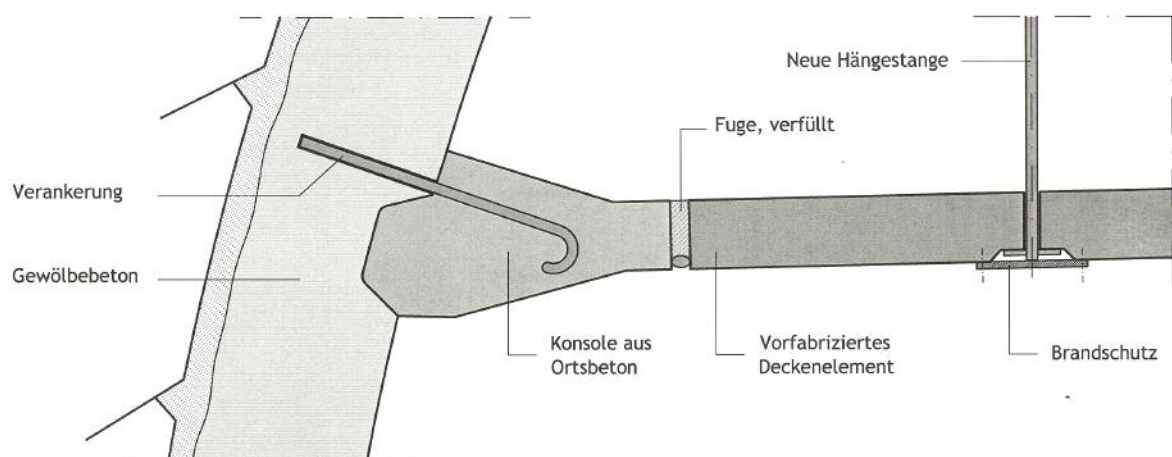


Abb. 6: Neue Zwischendecke, Randdetail.



Abb. 7: Erstellung der Deckenkonsolle am Parament. Im Vordergrund ist die von den alten Decke abgetrennte Trennwand sichtbar.

Auch die rostfreien Hängestangen konnten in Serie vorgängig der Elementlieferung gesetzt werden (**Abb. 8, 9**). Das verwendete System ist im Tunnel erprobt und bietet die erforderliche Flexibilität in Bezug auf Toleranzen. Da das Material in der spezifizierten Qualität (W.Nr. 1.4529) wegen Lieferterminen nicht rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden konnte, wurden vorerst Stangen derselben Abmessungen aus normalem Stahl eingesetzt. Die Auswechslung mit den definitiven Hängestangen erfolgte nachträglich und verursachte keine Behinderungen.

Das statische System der neuen Decke ist grundsätzlich verschieden gegenüber demjenigen des ursprünglichen Projekts, welchem ein steifer Rahmen mit seitlich freien Auflagern und einer zentralen Aufhängung im Kalottenscheitel zugrunde lag. Die Trennwand, resp. die darin integrierten Hängestangen (welche ihre Rolle auch unter der Extrembelastung während dem Brand in ausgezeichneter Weise erfüllt haben) sind nun ihrer Funktion enthoben und haben nur noch das Eigengewicht der Wand selbst zu tragen. Bei der Neuerstellung besteht neben den jeweils drei Hängestangen pro Platte noch eine Sicherung aus zwei Auflagergarnituren auf der seitlichen Konsole. Die Luftwiderstandsprobleme mit den freien Hängestangen sind nicht relevant, da am Montageort wegen der Distanz zur Lüftungszentrale (1 km) keine sehr hohen Luftgeschwindigkeiten zu verzeichnen sind.

Das Verhalten der neuen Decke bei Brand muss im Rahmen der diesbezüglichen Schwachstellenanalyse über den gesamten Tunnel beurteilt werden. Der Brandschutz der Verankerungsplatten an der Untersicht der Decke mittels einer geeigneten Isolation stand ausser Diskussion und wurde im Rahmen der Fertigstellungsarbeiten während den Sperrnächten ausgeführt. Hingegen ist die Zweckmässigkeit eines systematischen Brandschutzes der Hängestangen Gegenstand einer laufenden Untersuchung. Bei dieser Bewertung sind auch die während des Brandes effektiv aufgetretenen Temperaturen im Abluftkanal, welche gemäss ersten Erhebungen den Wert von 300 Grad C nicht überschritten haben, zu berücksichtigen; und auch die Tatsache, dass die Festigkeitswerte der brandexponierten Hängestangen aus Stahl keine relevanten Einbussen verzeichneten.



Abb. 8 (Keystone): Bauzustand vor der Montage der Deckenelemente.



Abb. 9: Decke im Montagezustand (Frischlufthkanal). Rechts ist das am Gewölbe befestigte Strahlungskabel (Funk/Radio) erkennbar. Es blieb während dem Brand intakt und funktionstüchtig.

Die Möglichkeit, die Decke vollflächig mit einer feuerhemmenden Schicht zu schützen wurde auch bei diesem Sanierungsprojekt erörtert, jedoch nicht weiter verfolgt. Bekanntlich kann der Personenschutz mit einer solchen Massnahme nicht erhöht werden und bezüglich Objektschutz sprechen wirtschaftliche Gründe dagegen.

7. Instandstellung der Nebenanlagen

Neben, resp. unter der Zwischendecke mussten verschiedene Einzelobjekte baulich saniert werden, insbesondere:

- Eingangsbereich zum Schutzraum 69 (**Abb. 10**)
- 2 SOS-Nischen
- Einlauf- und Kontrollschächte
- Randsteine und Gehwege.



Abb. 10: Sanierungsarbeiten am Rahmen und an der Abschlusswand zum Schutzraum 69.

Diese Arbeiten bestanden im wesentlichen aus Abtrag und Reprofilierung von beschädigtem Eisenbeton.

Bei der Fahrbahn wurden auf die Länge der roten Zone, d.h. auf rund 300 m die obersten 4 cm des Belags abgefräst und durch eine neue Verschleisschicht ersetzt.

Die am ostseitigen Parament (Seite Frischluft) alle 8 m vorhandenen Frischluftpfefen waren auf die gesamte Länge der roten Zone zerstört. 30 Stück davon mussten ersetzt werden. Die Schäden an den vorgestellten Wandplatten erstreckten sich hingegen weiter nach Norden. Letztere mussten auf eine Länge von rund 600 m, beidseits, ersetzt werden, und zwar inkl. aller Spezialplatten (diverse Platten mit Öffnungen, Teilplatten bei den Eingängen sowie der Platten in der Ausstellbucht.

Wie bereits oben beschrieben, verhielt sich die Schutzraumtüre Nr. 69, in der Mitte der roten Zone, der Zweckbestimmung entsprechend gut. Sie liess sich auch nach dem Brand, obwohl beschädigt, noch mehr oder weniger reibungslos öffnen und schliessen. Neben den allgemeinen Deformationen im Rahmenbereich betrafen die Schäden vor allem das Zubehör (Dichtungen, Puffer, Endschalter usw.). Die Türe konnte repariert werden.

Im betroffenen Schutzraum selbst musste nichts instand gesetzt werden.

8. Elektromechanische Ausrüstung

Im Fahrraum mussten sämtliche Anlagen im Bereich der Sektoren 67,68 und 69, d. h. auf 750 m ersetzt werden. Es handelt sich um:

Kabelanlagen:	1500 m Kabelkanäle, inkl. Befestigungsgarnituren und Aufstiege 1500 m Versorgungskabel für die Beleuchtung (Normal- und Notversorgung) 6000 m Kabel für Stromversorgung, Steuerung der Signale und SOS-Telephone 2000 m Kombinationskabel für Videoübertragung 2000 m Kabel für Branddetektion 750 m Versorgungskabel für Brandnotleuchten
Beleuchtung:	300 Stück Beleuchtungskörper 6 Transformatoren 20 Brandnotleuchten
Signalisierung:	3 Hinweissignale „Fluchtweg“ 6 Hinweissignale „SOS“ 15 Verkehrssignale und Lichtsignale
Verschiedenes:	2 SOS-Kasten 6 SOS-Telephone 2 Videocameras inkl. Zubehör 35 Brandmelder verschiedene Sensoren für die Ventilationssteuerung Kontrolle der Erfassungsschlaufen für die Verkehrssteuerung

Neben dem Ersatz der zerstörten und defekten Anlagen wurden die wichtigsten Systeme grundsätzlich überprüft und ausgetestet, insbesondere:

- Prüfung, Revision und Funktionskontrolle der 6 Ventilatoren der Lüftungszentralen Airolo, Motto di Dentro und Guspisbach.
- Ersatz des Abluftventilators Airolo durch den Reserveventilator
- Prüfung der Kabel in den Gehwegen: 20 kV Hochspannungskabel, Versorgungs- und Steuerkabel.

Vor der Wiederinbetriebnahme wurden alle Anlagen des Abschnitts Airolo – Motto di Dentro einem ausführlichen Gesamttest unterzogen.

9. Bewältigung des Zeitfaktors und der Risiken

Das Bauprogramm musste schon wenige Tage nach dem Ereignis verbindlich festgelegt werden, nicht zuletzt auch im Hinblick auf eine möglichst zuverlässige Orientierung der Öffentlichkeit über das Datum der Wiedereröffnung. Da anfangs noch nicht alle Tätigkeiten mit ihrem realen Zeitaufwand genau beurteilt werden konnten, war die Einhaltung dieses anspruchsvollen Programms mit erheblichen Risiken behaftet. Die Abweichungen des effektiven Baufortschritts vom detaillierten Planungsprogramm wurden anlässlich von täglichen Reviews erfasst, mit allen Beteiligten erörtert und, wo nötig, mittels zusätzlichen Massnahmen korrigiert.

Somit konnte die verbleibende Unsicherheit bezüglich des Eröffnungsdatums sukzessive verringert werden.

Als wesentliches und matchentscheidendes Element erwies sich die Nutzung der Gleichzeitigkeit, und zwar in allen Phasen, insbesondere:

- Erste Sicherung/Abschluss der Löscharbeiten/Arbeit der Erkennungsdienste
- Zustandserhebung/Materialentnahmen/Räumung/Demontagen
- Reinigung/Bauvorbereitung
- Bauarbeiten/ Ausrüstungen/ Fahrbahnbelag/ Montage der elektromechanischen Anlagen
- Restarbeiten/Kontrollen/Funktionstests der Anlagen

Man darf auch hier nicht vergessen, dass der Tunnel eine lineare Baustelle darstellt und in dieser kurzen Zeit vergleichbar viele Arbeitsgattungen zu verrichten waren wie bei einem neuen Tunnel. Die Organisation eines möglichst reibungslosen Ablaufs, an welchem eine Belegschaft von im Mittel 80 Personen beteiligt war, gestaltete sich daher nicht einfach.

Zusammenfassend konnten die Arbeiten in den folgenden Phasen abgewickelt werden:

- Sofortmassnahmen (Sicherung des Zugangs auf die gesamte „rote Zone“ für Feuerwehr und Polizei): 24. – 26.10.2001 (2 Tage)
- Begleitung und Sicherung der polizeilichen Erkennungsdienste, zusätzliche Unterstützungen, Bergung der Fahrzeugtrümmer, Reinigung der Luftkanäle und des Fahrraums: 27.10. – 19.11.2001 (23 Tage)
- Abbruch der Zwischendecke (230 m), Ausbau des Fahrbahnbelags (300 m), Demontage der seitlichen Verkleidungswände (600 m) und der elektromechanischen Anlagen im Fahrraum auf 750 m: 20.11. – 26.11.2001 (7 Tage)
- Wiederherstellung der Zwischendecke, der Nebenbauwerke, der Gehwege und des Fahrbahnbelags, der Metallteile und elektromechanischen Anlagen: 27.11. – 20.12.2001 (24 Tage)
- Funktionstest aller Anlagen: 21.12.2001 (1 Tag).

10. Ausblick

Dass es in der für unsere Verhältnisse äusserst kurzen Zeit möglich war, den Tunnel wieder instand zu stellen, ist der Kombination verschiedener günstiger Voraussetzungen und Randbedingungen zu verdanken. Wichtig war aber auch die gute Zusammenarbeit innerhalb des kleinen aber kompetenten Projektteams, wo jeder Beteiligte, Vertreter des Betriebs, der Projektverfasser und die Spezialunternehmer ihre Erfahrungen aus laufenden Arbeiten im Tunnel einbringen konnten. Somit konnte von der ersten Stunde weg, noch während es im Tunnel brannte, effizient, mit einem Minimum an Reibungsverlust und mit einer ausserordentlichen Motivation gearbeitet werden.

Literatur

- [1] "Remplacement de la dalle intermédiaire (tunnel routier du Gothard, N2)"
Maintenance des ouvrages en tunnel, publication no. 724.460 f, Office fédéral des questions conjoncturelles, 1994
- [2] Mordasini Andrea: "Risanamento della galleria a seguito dell'incendio del 31.10.1997"
Rivista tecnica, marzo 1999