

Aspekte für mehr Sicherheit im Tunnel - Folgerungen aus fatalen Unfällen in Europa

B. Aberle & M. Kühne

Deutsche Montan Technologie GmbH, Essen, Germany

Zusammenfassung

Die Anzahl langer Straßen- und Eisenbahntunnel wächst weltweit. Mit der Zunahme der Verkehrsbelastung wächst auch das Unfallrisiko. Die Sicherheit für den Tunnelbenutzer ist durch zwei Brandkatastrophen in den europäischen Alpen in den Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion geraten.

In diesem Artikel werden die Ursachen und die Auswirkung der beiden Brandfälle beschrieben. Es wird der Stand der sicherheitstechnischen Ausstattung in europäischen Straßentunnel beschrieben. Dazu werden die sicherheitstechnischen Aspekte für ein Höchstmaß an Sicherheit für den Tunnelbenutzer aufgezeigt.

Einführung

Die Kunst, Tunnel zu bauen, ist der Menschheit seit langem bekannt. Schon seit dem Altertum wurden in vielen Teilen der Welt unterirdische Hohlräume für religiöse Zwecke, für die Wasserversorgung und für den Personenverkehr geschaffen.

Der Tunnelbau erlebte seine erste Blütezeit mit dem Bau der ersten Eisenbahnlinien. Steigungen und Gefällstrecken im hügeligen Gelände konnten nur durch Brückenbauwerke und Tunnel vermieden werden.

Heute verfügt allein Deutschland über 1400 km Tunnel für Eisenbahnen, Fernstraßen und den kommunalen Verkehr. In diesem Jahr (1999) sind in Deutschland weitere 200 km Tunnel im Bau und mehr als 370 km Tunnel in der Planung. Für die Neubaustrecken der Deutschen Bahn AG mit einer Ausbaugeschwindigkeit bis zu 300 km/h wird ein Anteil bis zu 40 % der Tunnel an der Gesamtstrecke gerechnet.

Die Ausrüstung und Ausstattung von Tunnel in der Betriebsphase sind in Deutschland wie auch in den meisten europäischen Länder durch Vorschriften und Gesetze geregelt. Von Seiten der europäischen Union gibt es erste Vorschläge, aber noch keine einheitlichen Vorschriften für die sicherheitstechnischen Belange im Tunnel. Ein Grund ist die große Vielfalt von Tunnelbauwerken. Unterschiede in Nutzung, Länge, Geometrie, Überdeckung und Konstruktion des Tunnels lassen keine vereinfachte Standardlösung für die sicherheitstechnische Ausstattung eines Tunnels zu. Vielmehr muß jeder Tunnel in Kombination mit dem jeweiligen Verkehrssystem einzeln betrachtet werden.



Bild 1: Portal des 7.6 km langen Freudensteintunnels (Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnstrecke Mannheim - Stuttgart, Deutschland)

Brandfälle in Tunneln

Die Benutzer eines Tunnel sind unterschiedlicher Unfallrisiken ausgesetzt. Ein Zusammenbruch der Tunnelkonstruktion oder ein Versagen von Ausbauteilen kann Menschen in einem Tunnel gefährden. Die Versagensformen sind äußerst selten und teilweise im Voraus zu erkennen.

Ein Unfall des Verkehrsträgers, zum Beispiel die Entgleisung eines Zuges oder ein Zusammenstoß von Fahrzeugen in einem Tunnel stellt ein größeres Risiko für den Benutzer dar.

Das größte Risikopotential im Tunnel ist das Auftreten von Feuer. Besonders in Folge oder in Kombination mit einem Unfall sind Brände im Tunnel nur schwer zu beherrschen. Ursachen dafür sind die beschränkten Fluchtmöglichkeiten durch die Tunnelröhre; im Extremfall gibt es nur einen der beiden Wege zu den Tunnelportalen und die eingeschränkte Möglichkeiten für die Feuerwehren und Rettungskräfte zum Erreichen des Brandherdes. Die Bildung von Rauchgasen im Tunnel, toxisch, mit Temperaturen bis etwa 1200 °C und die starke Rußbildung beeinträchtigen die Flucht und Rettung von Personen sowie die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr.

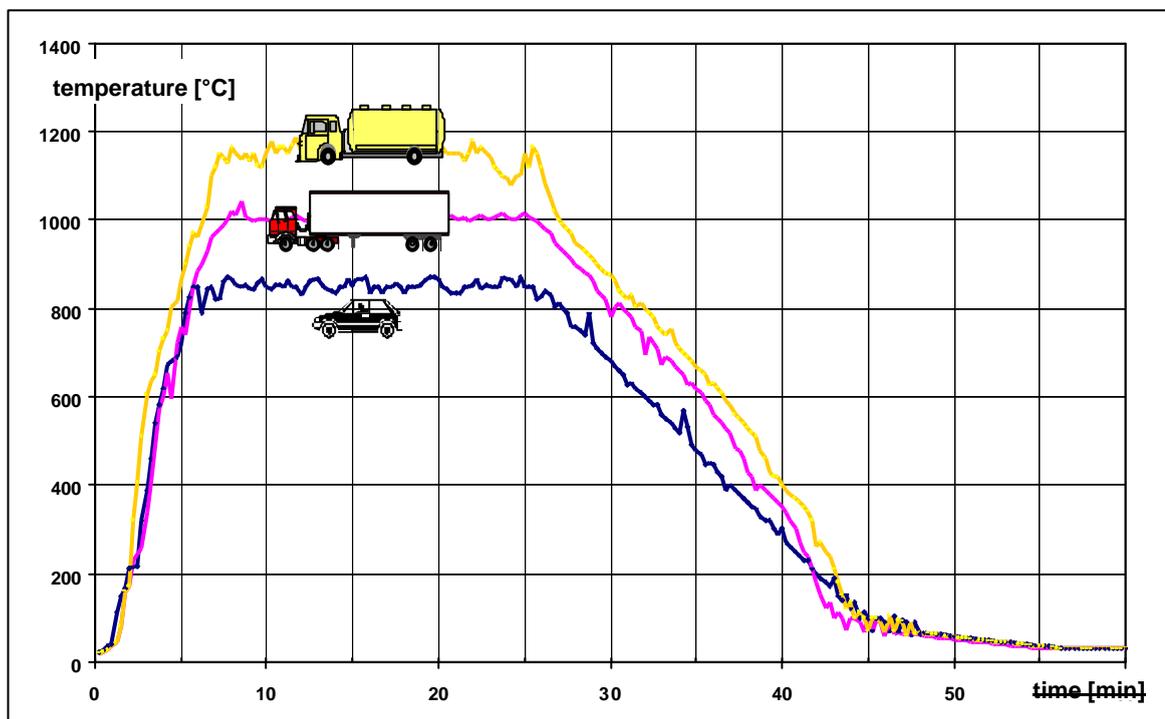


Bild 2: Brandentwicklung in einem Tunnel. Kurve ermittelt aus in-situ-Brandversuchen bei der DMT (Deutschen Montan Technologie)

Unter diesen Bedingungen kann schon ein einfacher PKW- Brand mit einer Brandlast von 3 MW zu einem schwer beherrschbaren Ereignis werden. Brandversuche unter

anderem bei der DMT haben gezeigt, das schon nach weniger als 10 min ein kleiner Entstehungsbrand an einem PKW in die Vollbrandphase übergegangen ist (siehe Bild 2).

Die kurze Zeit zwischen der Entstehung eines Brandes und der Vollbrandphase hat auch die Deutsche Bahn AG dazu gebracht, das Rettungskonzept umzustellen. Wurde bisher die Fremdrettung mit der Hilfe von bereitgehaltenen Rettungszügen propagiert, wird in Zukunft verstärkt auf Eigenrettung gesetzt. Durch Fluchtwege und Fluchtkammern sollen sich die betroffenen Menschen innerhalb von wenigen Minuten selbst in Sicherheit bringen.

Obwohl im Vergleich zu offenen Straßen und Autobahnen das Unfallrisiko in Straßentunneln gering ist, ist durch mehrere Unglücke in Tunneln das Thema Sicherheit für den Benutzer verstärkt in das Interesse der Öffentlichkeit gelangt.

Statistiken zeigen, daß sich im Straßentunnel weniger Unfälle ereignen als auf freier Strecke. Dies ist vor allem auf die geringen Witterungseinflüsse, die Geschwindigkeitsbegrenzung, gleichbleibende Lichtverhältnisse sowie auf die geringe Anzahl von Kreuzungen/ Verflechtungen im Tunnel zurückzuführen. Aber schon kleinere Unfälle sind im Tunnel schwerer zu beherrschen, insbesondere da die Zufahrt für Rettungskräfte (Sanitäter, Feuerwehr etc.) stark eingeschränkt ist. Unfälle mit Brandfolgen können, wie die jüngsten Ereignisse im Montblanc- Tunnel und Tauerntunnel zeigen, zu einer Katastrophe führen.

In den letzten Jahren ist es immer wieder zu schweren Verkehrsunfällen in Tunneln gekommen:

28.10.95	Metro in Baku (Aserbaidtschan)	Brand mit 289 Toten
10.04.95	Pfändertunnel (Österreich)	Autounfall mit Feuer, 3 Tote
18.03.96	Tunnel in Palermo (Italien)	Explosion eines Tanklastzuges, 5 Tote
18.11.96	Eurotunnel (England/ Frankreich)	Brand eines auf der Bahn transportierten LKW, 30 Verletzte
24.03.99	Montblanc-Tunnel (Frankreich/ Italien)	Brand eines LKW, 39 Tote
29.05.99	Tauerntunnel (Österreich)	Auffahrunfall mit Brandfolgen, 12 Tote

Tunnelbrand im Montblanc-Tunnel

Der 11,6 km lange Montblanc-Tunnel wurde 1965 als Einröhrentunnel überwiegend im Granit aufgeföhren. Der Tunnel war ursprünglich für eine Fahrzeugbelastung von 350.000 Fahrzeugen pro Jahr konzipiert, mußte aber in den letzten Jahren 2.000.000 Fahrzeuge, davon 750.000 LKW aufnehmen. Es existieren keine Fluchtwege, aber Notfallnischen, die einen begrenzten Schutz bieten. Die bis zu 25 Personen für einen Zeitraum von 2 bis 6 Stunden aufnehmen können.

Bei dem Unglück im Montblanc-Tunnel im März diesen Jahres fing ein LKW in der Tunnelmitte Feuer. Der LKW war mit Magarine und Mehl beladen. Nachdem der Fahrer Qualm an seinem Fahrzeug bemerkt hatte, blieb er im Tunnel ca. 5,1 km vor dem südlichen Ausgang stehen. Die Ursachen für die Entzündung des Feuers konnten bisher nicht ermittelt werden. Das Feuer griff in kürzester Zeit auf die Ladung und weitere Fahrzeuge über. Die Tunnellüftung trug die Flammen

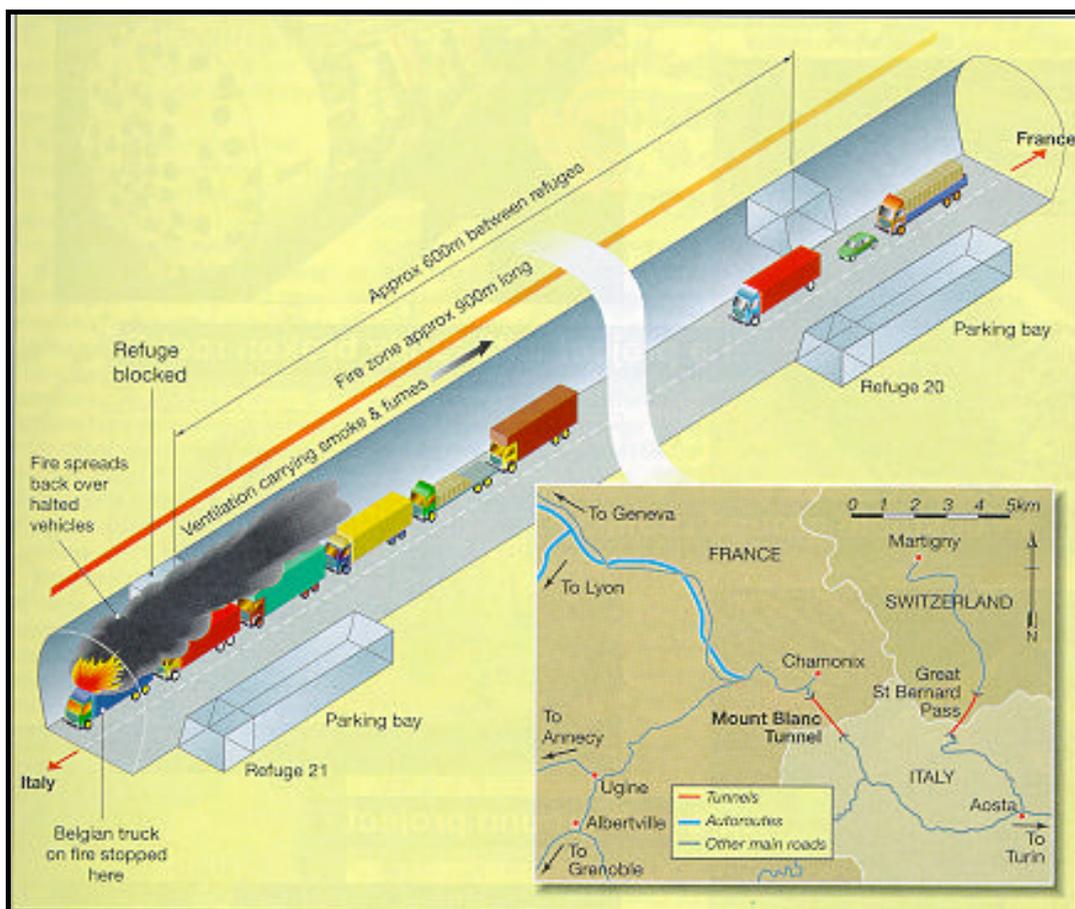


Bild 3: Schematische Darstellung des Unfalles im Mont-Blanc-Tunnel

Test der wichtigsten Straßentunnel im europäischen Alpenraum

Die Brandkatastrophe am 24. März 1999 im Montblanc-Tunnel hat allgemein zur Überprüfung der Sicherheit in Tunneln geführt. So hat im Mai dieses Jahres die Deutsche Montan Technologie (DMT) in Essen im Auftrag des Allgemeinen Deutschen Automobil-Club (ADAC) die Sicherheit von 20 Straßentunneln auf den wichtigsten Urlaubsrouten in Österreich (12), der Schweiz (4), Frankreich (2) und beispielhaft in Deutschland (2) getestet. Der Test sollte die Sicherheit für den Benutzer eines Tunnels aufzeigen. Für den Test wurde eine Checkliste mit den wichtigsten Belangen der Sicherheit aufgestellt. Die Liste enthält in zehn Schwerpunkten die wichtigsten sicherheitstechnischen Belange, vom Zustand des Bauwerkes bis zur Brandlüftung. Neben den visuellen Eindrücken, der stichprobenartigen Überprüfung von Sicherheitseinrichtungen (z. B. Notrufanlagen, Hydranten, Feuerlöscher) wurden in Gesprächen mit den Betreibern die Sicherheitskonzepte und das geplante Vorgehen bei einem Unglücksfall bewertet.



Bild 5: Ergebnis der von der DMT durchgeführten Sicherheitsbewertung von Straßentunneln in den Europäischen Alpen

Das im Bild 5 dargestellte Ergebnis ist erschreckend. Danach erhielt kein Tunnel die Note "sehr gut", fünf Tunnel wurden mit "gut", sechs Tunnel mit "ausreichend", fünf Tunnel mit "bedenklich" und drei Tunnel mit "mangelhaft" bewertet. Der Tauerntunnel wurde von den DMT-Testern schon vor dem Brandfall als "bedenklich" eingestuft.

Maßnahmen für mehr Sicherheit in Straßentunneln

Im folgenden Kapitel sind einige Aspekte für mehr Sicherheit aufgeführt. Alle Maßnahmen sind für Tunnellängen ab 2 km gedacht und müssen jeweils an die Nutzung (Straße, Eisenbahn) und die lokalen Gegebenheiten angepaßt werden.

Die Unfallhäufigkeit steigt in der Regel mit zunehmender Tunnellänge und Fahrzeugaufkommen; 1998 traten in Straßentunneln bis zu 18 Unfälle je Kilometer Tunnelröhre auf.

Für die Beurteilung der Sicherheit in einem Tunnel ist eine Risikoabschätzung notwendig. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und das Ausmaß eines möglichen Schadens müssen bei allen Maßnahmen zum Schutz der Menschen und des Bauwerkes berücksichtigt werden.

- a) Der Tunnel sollte zusätzliche Flucht- und Rettungswege zu den beiden Ausgängen bieten. Besser als Einröhrensysteme sind zwei Röhren mit Querverbindungen oder eine zusätzliche Rettungsröhre. Standstreifen und Notgehwege erhöhen die Sicherheit.
- b) Bei Gegenverkehr sollten beide Spuren durch bauliche Maßnahmen getrennt werden.
- c) Der Tunnel sollte ausreichend beleuchtet sein. Helle Fahrbahndecken und Wände brauchen weniger künstliches Licht. Die Ein- und Ausgänge sollten mit Übergangszonen den Hell/ Dunkeleffekt abmindern.
- d) Pannenbuchten müssen mit Feuerlöscher, Telefon ausgerüstet sein
- e) Überwachungszentrale mit Kameras und Lautsprechern, um eine Kommunikation mit dem Tunnelbenutzer herzustellen.
- f) Angepaßte Lüftungssysteme mit Brandprogrammen. Die Lüftung muß im Brandfall gezielt die Brandgase und Hitze gefahrlos ableiten können. Mit Hilfe von Computersimulationen (CFD-Programme) können schon in der Planungsphase die optimalen Belüftungseinrichtungen konzipiert werden.

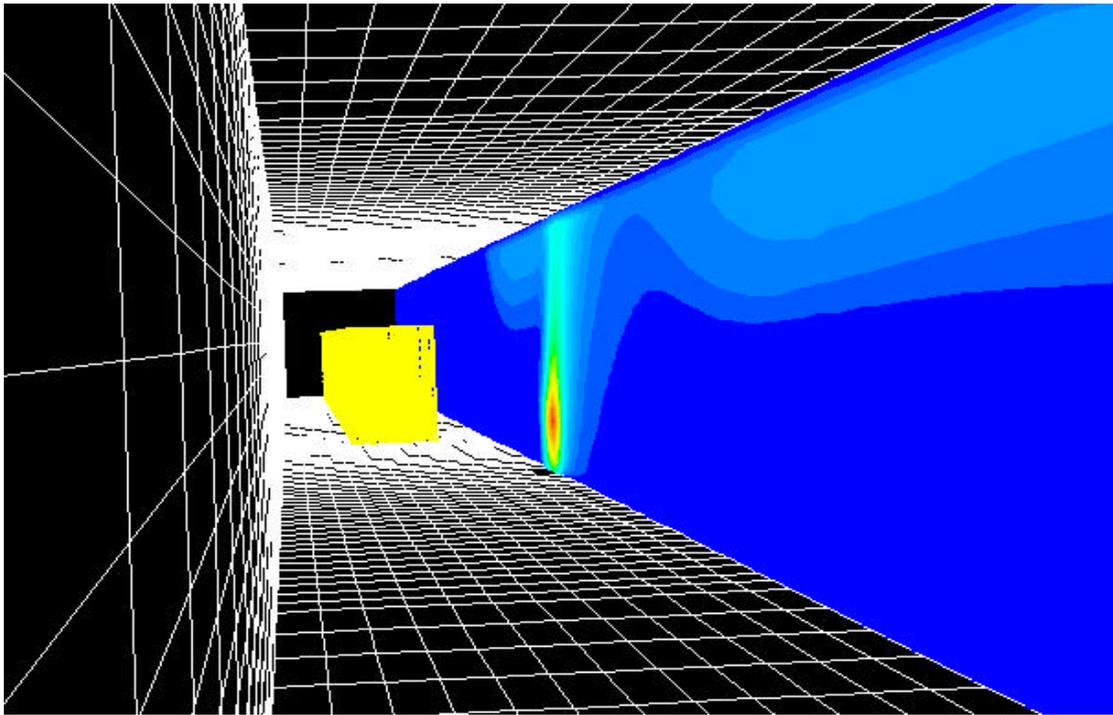


Bild 6: CFD-Simulation, durchgeführt von der DMT zur Optimierung von Belüftungssystemen für den Brandfall

g) Spezielle Tunnelfeuerwehr mit entsprechender Ausrüstung und Ausbildung



Bild 7: Ausbildung von Feuerwehrleuten bei der RISC RUHR GmbH, einer Tochterfirma der DMT.

- h) Krisenmanagement mit Alarmplänen
- i) Brandversuche, die die Eignung der Sicherheitsmaßnahmen nachweisen und dabei das gesamte System des Tunnels prüfen, mit regelmäßigen Übungen der Einsatzkräfte.



Bild 8: In-situ-Brandversuch eines Strassenbahnwagens, durchgeführt durch DMT

- j) Regelmäßige Begehungen durch Fachleute
- k) Brandsensoren im Tunnel und vor den Portalen, die die einfahrenden Fahrzeuge kontrollieren

Unfälle wie kürzlich im Montblanc- und Tauerntunnel lassen sich nie völlig ausschließen. Durch geeignete Maßnahmen kann die Sicherheit im Tunnel jedoch deutlich erhöht werden. Gefordert wird deshalb für die Zukunft:

- Gesetzliche Festlegung des Mindestabstandes im Tunnel für Personenkraftwagen von 50 m und für Lastkraftwagen von 100 m bei gleichzeitiger Geschwindigkeitsbegrenzung und entsprechender Überwachung des Verkehrs.
- Verstärkter Einsatz von elektronischen Stauwarnanlagen
- Einbau brandgeschützter Rettungszellen im Abstand von 600 bis 700 m mit vom Haupttunnel unabhängiger Belüftung

- Einrichten von hauptberuflichen Tunnelfeuerwehren mit geeignetem Gerät und entsprechender Ausbildung
- Fahrten von Gefahrguttransporten nur mit Begleitfahrzeugen oder zu ganz bestimmten Zeiten durch die Tunnel zulassen und nach Möglichkeit auf den Bahntransport verweisen.

Die Tunnel sollten grundsätzlich für den Richtungsverkehr in zwei getrennten Tunnelröhren mit eigenem Belüftungssystem und Stromversorgung gebaut oder umgebaut werden. Wenn dies aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, sollten zusätzliche Fluchtmöglichkeiten (Fluchtstollen, Fluchtkammern) eingeplant werden. Zu einem Höchstmaß an Sicherheit gehören auch selbsttätige Überwachungsanlagen und ferngesteuerte Fernsehkameras, damit im Notfall Hilfe schnell kommen kann.

DMT als Dienstleister für mehr Sicherheit im Tunnel

Die Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT) ist ein internationaler Technologiedienstleister rings um die Bereiche: Rohstoffe, Sicherheit und Infrastruktur. Die DMT mit ihren 900 Beschäftigten vereinigt Experten in sieben Geschäftsbereichen aus dem Bergbau, der Geotechnik und zahlreichen weiteren Fachrichtungen. Die besondere Stärke der DMT ist die praxisnahe Ausrichtung ihrer Experten und die interdisziplinäre Zusammenarbeit der unterschiedlichsten Fachbereiche. Durch ihren Ursprung im Bergbau beschäftigt sich die DMT seit über 100 Jahren mit der Sicherheit von Mensch und Material in unterirdischen Anlagen.



Services around Tunnelling: Consulting, Design, Testing

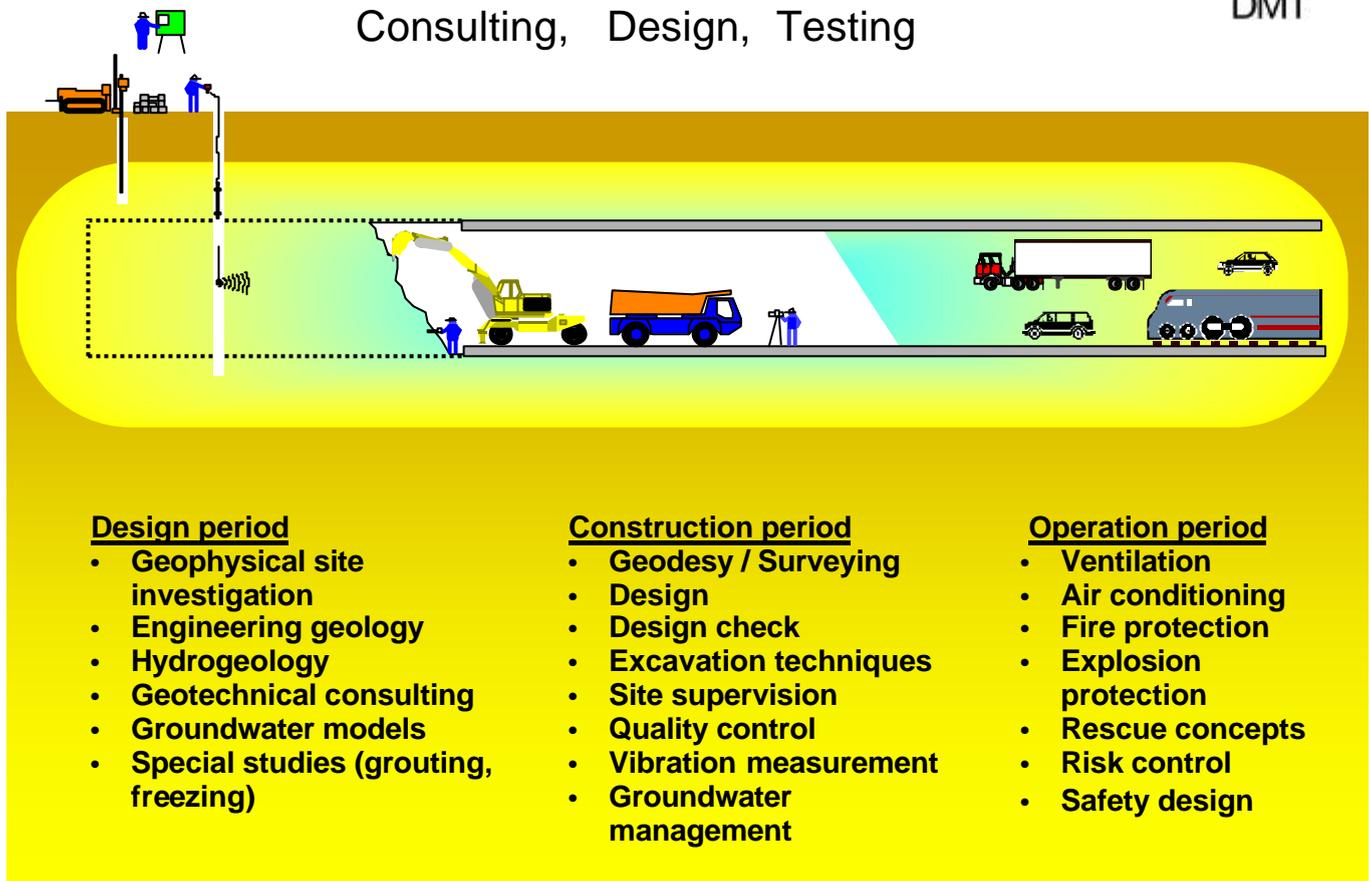


Bild 9: Leistungen der DMT rund um den Tunnelbau - Von der Planung bis zum Betrieb.

Für den Tunnelbau umfassen die Leistungen ein breites Spektrum von der Baugrunduntersuchung über die Planung bis zum sicheren Betrieb von Tunnelsystemen (siehe Bild 9). Ein Schwerpunkt beschäftigt sich mit der Sicherheit in

komplexen Systemen, insbesondere mit dem Brand- und Explosionsschutz, der Lüftung und dem Rettungswesen.

Die jüngste Aktivität ist die Einrichtung eines hochmodernen Ausbildungszentrums (RISC RUHR) für Brandschutz- und Rettungsdienst-training. Hier werden Feuerwehrkräfte und Angehörige von Rettungsdiensten unter realistischen Bedingungen für die Brandbekämpfung in Tunneln und Gebäuden ausgebildet. Dabei erleben die Trainierenden verschiedene Brandsituationen. Sie erfahren die zeitliche Entwicklung der Temperatur und Rauchgasbildung in einem brennenden Raum und erleben den gefürchteten Flash-over. Sie steigen in einem 70 m langen Brandtunnel ein und erfahren die typischen Schwierigkeiten, sich bei völliger Verrauchung in einem engen Raum zu orientieren, zu retten, Material vorzutragen und den optimalen Löschangriff durchzuführen.



Bild 10: Trainingseinsatz der Feuerwehr beim Ausbildungszentrum RISC RUHR der DMT

In der Versuchsanlage Tremonia werden auch regelmäßig Brandversuche zur Entflammbarkeit und zu dem Brandverhalten von einzelnen Produkten durchgeführt. Eine Besonderheit ist die Möglichkeit, Brandversuche an komplexen Systemen

durchzuführen. So kann das Brandverhalten einer vollständigen Tunnelauskleidung mit Spritzbeton, Anker, Verblendmatten und Befestigungselementen geprüft werden.