

**LEISTUNGSFÄHIGKEIT des**  
**AUTOMATISCHEN FEUERLÖSCHSYSTEMS**  
**mit FERNGESTEUERTEN MONITOREN**  
**bei TUNNELBRÄNDEN**



## Allgemein

Das Feuerlöschsystem mit ferngesteuerten Monitoren für Brände in Tunnel gehört zu den gegenwärtig innovativsten und wirkungsvollsten Systemen zur Bekämpfung von Feuer in Tunnel. Es arbeitet vollautomatisch oder halbautomatisch mit der Möglichkeit es jederzeit aus der Ferne (Kontrollraum) manuell zu aktivieren oder manuell in den automatischen Betrieb einzugreifen.

Das System basiert auf der bewährten Technologie der bekannten ferngesteuerten Schaum-/Wassermonitore wie sie weltweit im industriellen Hochrisikobereich eingesetzt werden.

Die Anwendung von Monitoren verhindert durch die große Löschkraft ihres Schaumstrahls in Verbindung mit ihrer erhöhten Effizienz ein (zu schnelles) Auftreten giftiger Brandgase für die im Tunnel befindlichen Menschen.

Das Löschsystem ermöglicht folglich ein Überleben in einem brennenden Tunnel und ausreichend Zeit um alle beteiligten Personen in Sicherheit zu bringen d.h. einen Schutzraum oder den Ausgang zu erreichen.

Gleichmaßen werden schwerwiegende Schäden an der Struktur und den Einbauten im Tunnel vermieden und damit neben ökonomisch/wirtschaftlichen auch alle weiteren in Zusammenhang stehenden Folgen gemindert.

Unter Verwendung der typischen mathematischen Simulationsergebnisse der „Fire Safety Engineering (F.S.E.)“ zusammen mit der Validierung der experimentalen Daten aus der Beobachtung von kontrollierten Bränden in Testtunnel ist es nun offenkundig möglich die Effizienz von Löscheinheiten in Tunnel und die Überlebenschancen beteiligter Personen klar zu beschreiben.

## Automatisches Löschesystem mit ferngesteuerten Monitoren

### Beschreibung des Systems

In der Standardkonfiguration besteht das Feuerlöschsystem aus mehreren in konstantem Abstand (typisch 42m) fest installierten ferngesteuerten Monitoren entlang des Tunnels.

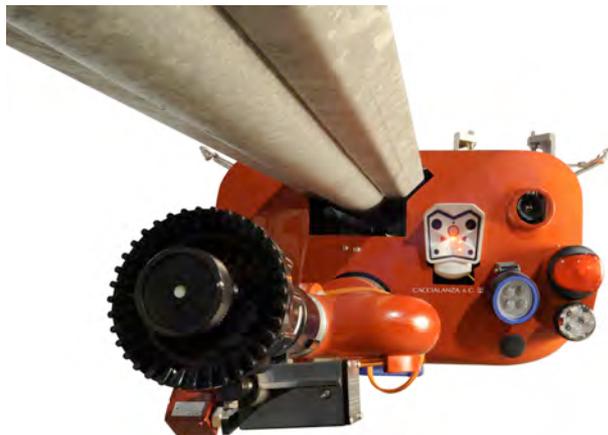
An jedem ferngesteuerten Monitor, mit einer Durchflussrate von 1000 l/min, gibt es ferner eine elektrische Steuerpaneele, ein motorbetriebenes Steuerventil, Infrarot-Flammendetektoren und Temperatursensoren.



Die Monitor- und Steuereinheiten sind verbunden durch ein Druckrohr (~10 bar) zur Versorgung mit Wasser oder Wasser-Schaummittelgemisch, einer gesicherten Stromversorgungsleitung und einem redundant ausgelegten seriellen Bus zur Übertragung von Daten. Fernsteuerbar sind Elevation (hoch/tief), die Rotation (links/rechts), die Öffnung der Düse von Vollstrahl bis Sprühstrahl und das Ventil zur Löschmittelzufuhr. Die Kommandos werden unabhängig von einander zu

jedem Monitor seriell übertragen. Ein spezielles Kabel aus flammenhemmendem Material enthält sowohl die Datenleitung als auch die Leitung für die Stromversorgung aller Kompo-

nen. Bei jedem Monitor befinden sich ferner 2 IP/TV Kameras für sichtbares und infrarotes Licht und sind in beide Richtungen des Tunnels gerichtet. Optional stehen ferner Detektoren für brennbare Gase und/oder Detektoren für toxische Gase zur Überwachung spezieller Gefahrensituationen zur Verfügung.



Alternativ zur eben beschriebenen Version steht eine zweite Version des Feuerlöschsystems auf fahrbaren Wägen zur Verfügung. Hier besteht das System der ferngesteuerten Monitore aus einem an der Decke des Tunnels fest montiertem Schienensystem in dem sich mehrere mobile Einheiten, ausgerüstet mit fernsteuerbaren Schaum-/Wassermonitoren, befinden.

Fest mit in das Schienensystem einbezogen ist wiederum ein Druckrohr (~10 bar) zur Versorgung mit Wasser oder Wasser-Schaummittelgemisch. Die gleiche Struktur beherbergt ferner eine gesicherte Stromversorgungsleitung, einen redundant ausgelegten seriellen Bus zur Übertragung von Daten, sowie ein thermosensitives Kabel und Flammendetektoren zur Detektion von Feuer.

In regelmäßigen Abständen (typisch 42 m) entlang des Tunnels gibt es ferner sogenannte „Connection points“ bzw. „lookout points“ an denen sich die mobilen Einheiten andocken können um von dort aus mit dem Löschen zu beginnen.

Jede mobile Einheit umfasst einen elektrisch ferngesteuerten Monitor mit einer Durchflussrate von 1000 l/min, zwei IP/TV Kameras für sichtbares und infrarotes Licht, die Antriebsmotore für die Bewegung entlang der Schiene und einen Schaltkasten mit allem Nötigen zur Steuerung der Einheit.

In beiden Versionen wird das System vervollständigt durch eine Anlage zur Bereitstellung des Wasser-/Schaummittelgemisches, im Wesentlichen bestehend aus einer oder mehreren Pumpen (elektrische Pumpe oder Dieselmotorpumpe) mit Verdrängerzumischer für Schaummittel. Alternativ zu einem Verdrängerzumischer kann auch ein Schaummittelproportionierer mit eigener Schaummittelpumpe verwendet werden. Die Dimensionierung dieser Anlage hängt unter anderem von der Tunnellänge und seiner Beschaffenheit ab. Gewöhnlich genügt für Einzel- und Doppeltunnel mittlerer und kurzer Länge eine gemeinsame Anlage.

Eine wichtige Feststellung ist, dass in den beschriebenen Versionen ein komplettes Löschesystem zum manuellen Löschen mit Hydranten, wie per Gesetz vorgeschrieben, enthalten ist. Die Hydranten sind direkt an der Hauptwasserleitung in einem Abstand von 126m oder 252m (einem Vielfachen des Abstandes der „Connection points“) montiert, zusammen mit einem Druckminderungsventil um den passenden Druck (4 – 5 bar) für die Handspritzen zu erreichen. Für diesen Zweck ist in die Pumpstation eine weitere Zusatzpumpe installiert um einen Druck vom mindesten 5 bar zu sichern.



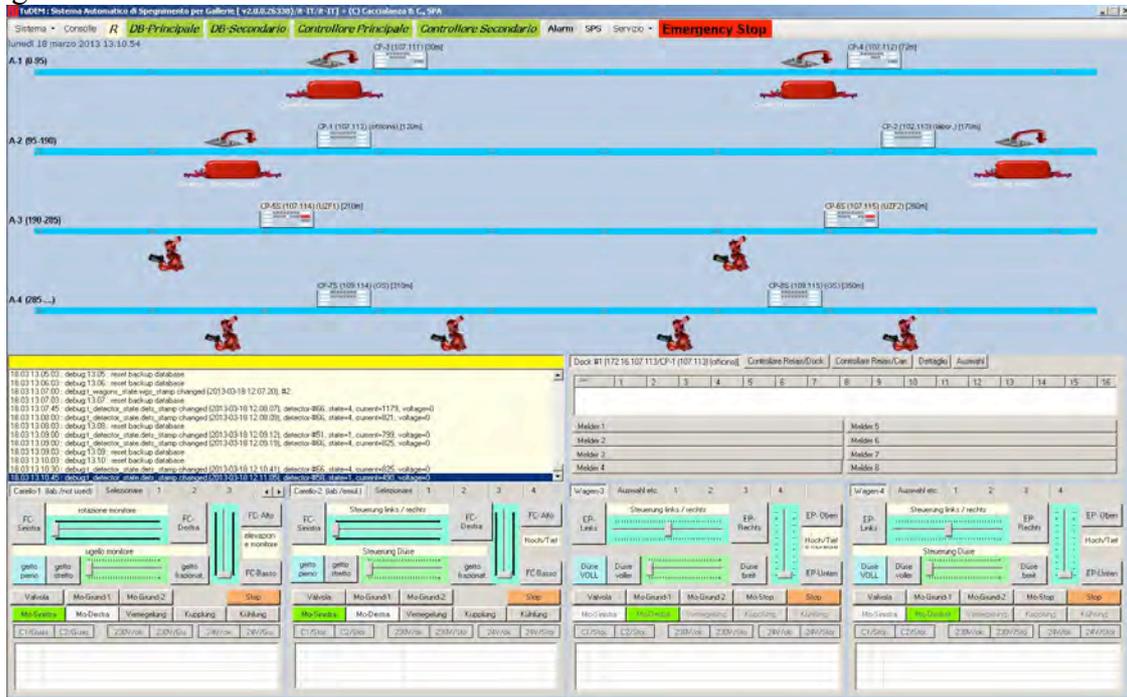
Eine wichtige Feststellung ist, dass in den beschriebenen Versionen ein komplettes Löschesystem zum manuellen Löschen mit Hydranten, wie per Gesetz vorgeschrieben, enthalten ist. Die Hydranten sind direkt an der Hauptwasserleitung in einem Abstand von 126m oder 252m (einem Vielfachen des Abstandes der „Connection points“) montiert, zusammen mit einem Druckminderungsventil um den passenden Druck (4 – 5 bar) für die Handspritzen zu erreichen. Für diesen Zweck ist in die Pumpstation eine weitere Zusatzpumpe installiert um einen Druck vom mindesten 5 bar zu sichern.

31-12-2013 rev.2

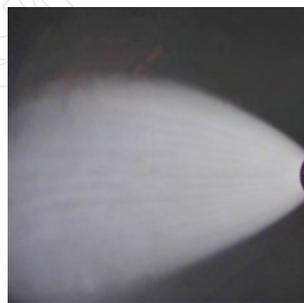


### Automatischer Betrieb des Systems

Der automatische Betrieb des Systems wird gesteuert durch eine zentrale Kommando- und Steuereinheit im Kontrollraum des Tunnels oder einem anderen passenden Technikraum. Eine selbständige Auslösung des Systems erfolgt durch ein kombiniertes Doppelsystem bestehend aus linearen Hitzedetektoren (Thermokabel) einerseits und Infrarotdetektoren entlang des gesamten Tunnels andererseits.



Im System mit den mobilen ferngesteuerten Monitoren fahren im Falle eines Brandes die 2 nächstgelegenen mobilen Einheiten (die im Wartezustand im Abstand von etwa 800 Metern positioniert sind) von beiden Seiten auf den Führungsschienen automatisch zu den „Connection points“ die, aus der jeweiligen Richtung gesehen, der Brandstelle am nächsten liegen. Sie docken dort mit Hilfe einer speziell patentierten Koppelung an und starten die Brandbekämpfung von zwei Seiten mit einem Schaum-/Wasserstrahl der von Vollstrahl (maximale Entfernung und Strahlkraft) bis zum Sprühstrahl (maximaler Kühleffekt) stufenlos einstellbar ist wie auf den Bildern zu sehen.



Bei der Ankoppelung der mobilen Einheiten an den „Connection points“ werden gleichzeitig auch die Verbindung zur Energieversorgung und die Datenkommunikation zum fest installierten Teil der Anlage hergestellt.

Gleichzeitig können, bei längeren Tunnel mit mehr als 2 mobilen Einheiten, 2 weitere mobile Einheiten (eine von jeder Seite) vor und hinter den bereits an der Brandstelle befindlichen mobilen Einheiten an dem jeweils nächstgelegenen „Connection point“ andocken und dann mit einem Sprühstrahl (bis 120°) die Temperatur senken (Kühlfunktion) und die Rauchentwicklung dämpfen.



Die Funktionslogik zu der Version mit ferngesteuerten Monitoren in konstantem Abstand an der Seite entlang des gesamten Tunnel ist absolut identisch, außer dass die in den Prozess involvierten Monitore bereits fest an einem Platz stehen. Die Phase der Anfahrt entfällt und an ihren Platz tritt die Auswahl der zum Brandherd geeignet positionierten Monitore die dann in gleicher Weise eingesetzt werden wie die fahrbaren. Die zwei zum Brandherd nächstgelegenen Monitore löschen direkt und die beiden nächsten auf jeder Seite kühlen mit Sprühstrahl die Temperatur bzw. dämpfen die Rauchentwicklung.  
Alle anderen im Tunnel installierten Monitore bleiben inaktiv und ihre Ventile geschlossen.

### Halbautomatischer Betrieb

Im halbautomatischen Betrieb startet nicht das System der Feuerdetektion den Löscheinsatz direkt sondern wartet auf die Freigabe durch den Operator im Kontrollraum oder einem anderen Techniraum.

Als Option ist hier ein weiterer Automatismus möglich der nach einer gewissen Zeit, falls weder eine positive noch negative Reaktion des Operators erfolgte, einen automatischen Löscheinsatz vorsieht.

### Manuelle Fernsteuerung des System per "Joystick" im Kontrollraum

Von der Kommando- und Steuereinheit im Kontrollraum aus ist, dank der hochempfindlichen IP/TV-Kameras für sichtbares und infrarotes Licht (die auf den mobilen bzw. fest installierten Einheiten montiert sind), eine Fernsteuerung der Monitore und das exakte Ausrichten des Löschrstrahls auf die Brandstelle mittels „Joystick“ möglich.  
Dies dient der Feinabstimmung beim automatischen Löschen und auch der



autonomen manuellen Steuerung durch den Operator.

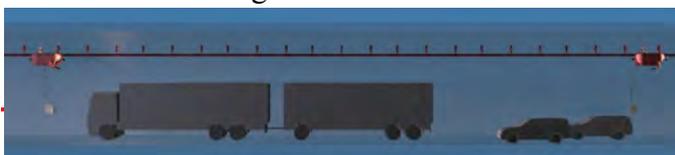
Beim manuellen Löschen reicht ein Mausklick auf die Station („Connection point“) an der die Löschkaktivität benötigt wird um die Positionierung der mobilen Einheit, das Andocken an die Versorgungsleitungen für Wasser, Energie und Datenkommunikation, zu aktivieren (Version mit mobilen Einheiten) oder die Auswahl des nächstgelegenen Monitors (Version mit festen Monitoren).

### Dimensionierung des Systems

Die Dimensionierung des automatischen Löschesystems mit ferngesteuerten Monitoren sollte eine Aktivierungszeit von weniger als 4 Minuten zwischen Ausbruch des Feuers und der automatischen Löschung gewährleisten.

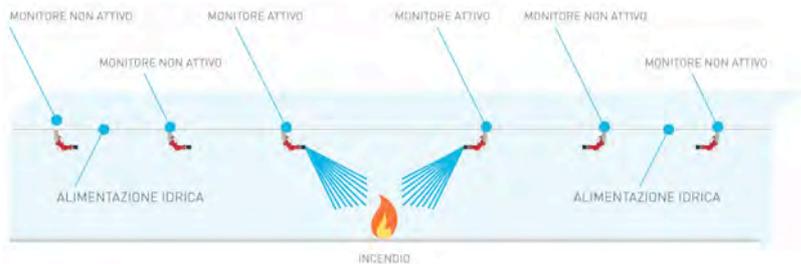
Die Feuerdetektion und Validierung der Maßnahme in diesem System benötigt weniger als 2 Minuten. Im Normalfall dauert die Fahrt der mobilen Einheit zum nächstgelegenen „Connection point“, das Andocken und das Starten der automatischen Löschung zusammen weniger als eine Minute. Die maximale Geschwindigkeit mit der sich die mobile Einheit entlang der an der Decke montierten Schienen bewegt beträgt etwa 10m/s. Der empfohlene Abstand der einzelnen mobilen Einheiten im Wartezustand (nicht aktiviert) beträgt zwischen 500m und 1000m (typisch 800m).

Im Falle eines ferngesteuerten manuellen Betriebs durch den Operator im Kontrollraum kann die Gesamtzeit in der Tat noch deutlich unterschritten werden.

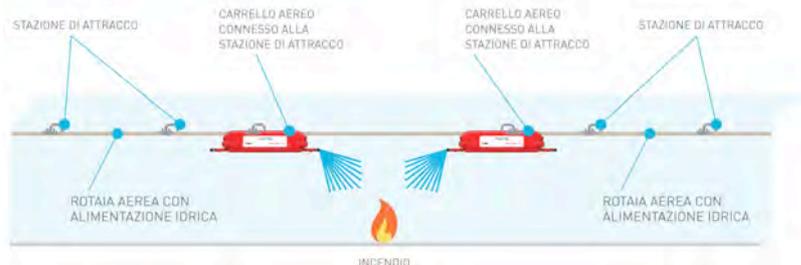


Erblickt der Operator auf den TV-Monitoren einen Brand so kann er die Brandbekämpfung unmittelbar durch einen Mausklick starten ohne die automatische Detektierung des Brandes und Validierung des Systems abzuwarten. Dadurch ist das System in weniger als 2 Minuten bereit zur Brandbekämpfung.

**SOLUTION 1: UNIFORMLY SPACED MONITORS**



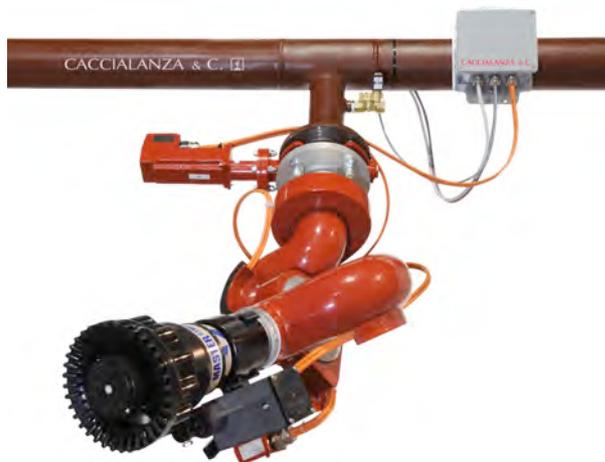
**SOLUTION 2: MONITORS ON OVERHEAD RAIL**



Gleiches gilt falls der Operator entscheidet die Brandbekämpfung nur mit dem Alarm eines einzigen Sensors zu starten (ohne Validierung durch einen zweiten) nachdem er die Situation mit Hilfe der IP/TV-Kameras für sichtbares und infrarotes Licht geprüft hat. Das Abwarten des Alarms von einem Thermokabel, die etwas langsamer sind, erübrigt sich.

**Struktur des Systems (verteilte Monitore)**

Entlang des Tunnels in einer etwas erhobenen Lage befindet sich die Hauptwasserleitung (o-



der Schaummittel/Wasser Gemisch), die Hauptstromversorgung, die Datenleitungen und die Thermokabel zur Feuerdetektion. Sowohl die Stromversorgungsleitungen als auch die Datenleitungen sind in einer doppelt ringförmigen Anordnung verlegt.

Die „Lookout points“ mit den Monitoren sind typisch in einem periodischen Abstand von 42m installiert, wie in der schematischen Darstellung Seite 12 gezeigt.

In jedem dieser Punkte ist ein Schaltkasten zu finden in dem alle nötigen Komponenten zur Steuerung zu finden sind.

Diese „Lookout points“ bilden quasi das

Rückgrat der Feuerdetektion sowohl bezüglich der Flammenmelder (2 sind an jedem „Lookout point“ installiert) als auch des Thermokabels, das sektionsweise im gesamten Tunnel verlegt ist.

Die Signale der Detektoren werden zu geschützten Schaltkästen in der Nähe jedes „Lookout points“ geführt und dort verarbeitet. Optional können hier noch weitere Sensoren oder auch weitere IP/TV-Kameras für sichtbares und infrarotes Licht zur Tunnelüberwachung angebracht werden.

Die Schaltkästen an jedem „Lookout point“ beherbergen ferner die Stromversorgung und Datenleitungen für die Monitore und zugehörigen Geräte.

Jeder Monitor ist dimensioniert für eine Durchflussrate von 1000 l/min. Dies ist mehr als das was gewöhnlich für ein mobiles Löschesystem oder eine feste Löschanlage in Tunnel verwendet wird.

Der Gesamtwasserdurchsatz der ferngesteuerten Monitore entspricht dabei dem einer fest installierten Löschanlage (z.B. Sprinkleranlage), ist aber auf nur einen „Punkt“ im Tunnel konzentrierbar und es wird keine Ressource in irgendeiner Form vergeudet.

### Struktur des Systems (Monitore auf mobilen Einheiten)

An der Decke des Tunnels ist ein Schienensystem mit der Hauptwasserleitung (ev. mit Schaummittelzusatz), der Hauptstromversorgung, den Datenleitungen (serieller Bus) und den Thermokabeln fest installiert. Einen typischen Abschnitt dieses Schienensystems zeigt nebenstehendes Bild. Bedeutend für das System sind die kompakte Konstruktion und die raumsparende Installation an der Decke.

Die „Connection points“ (oder „lookout points“) sind normalerweise in einem regelmäßigen Abstand von 42m entlang des Tunnels angebracht. Diese „Connection points“ bilden quasi das Rückgrat der Feuerdetektion sowohl bezüglich der Flammenmelder (2 sind an jedem „Connection point“ installiert) als auch des Thermokabels, das sektionsweise im gesamten Tunnel verlegt ist.



Die Signale der Detektoren werden zu geschützten Schaltkästen in der Nähe jedes „Connection points“ geführt und dort verarbeitet. Optional können hier noch weitere Sensoren oder auch weitere IP/TV-Kameras für sichtbares und infrarotes Licht zur Tunnelüberwachung angebracht werden.

Die Schaltkästen an jedem „Connection point“ beherbergen ferner die Stromversorgung und Datenleitungen für die mobile Einheit falls diese gerade angedockt ist.

Die mobile Einheit ist ausgerüstet mit einem Schaum-/Wassermonitor (die größte und schwerste Komponente), 2 IP/TV-Kameras für sichtbares und infrarotes Licht und optional mit Gassensoren für entflammbares Gas und/oder toxisches Gas. Im Monitorbereich ist ferner ein ferngesteuertes Ventil für Wasser (oder Wasser-/Schaummittelgemisch).

Jeder Monitor ist dimensioniert für eine Durchflussrate von 1000 l/min. Dies ist mehr als das was gewöhnlich für ein mobiles Löschesystem oder eine feste Löschanlage in Tunnel verwendet wird. Der Gesamtwasserdurchsatz entspricht dabei dem einer fest installierten Löschanla-

ge (z.B. Sprinkleranlage), ist aber auf nur einen „Punkt“ im Tunnel konzentrierbar und es wird keine Ressource in irgendeiner Form vergeudet.

### Zuverlässigkeit des Systems

Das System kombiniert die weltweit erprobten Eigenschaften der Feuerlöschmonitore mit der höchsten Zuverlässigkeit ihrer Komponenten hinsichtlich der speziellen Bedingungen unter denen sie eingesetzt werden.

Alle kritischen Teile, für die nicht nur die besten Materialien und verfügbaren Komponenten sondern auch nach neuester und zuverlässigster Technik auf dem Markt ausgewählt wurden, sind redundant ausgelegt.



Für die Datenkommunikation wurde ein TCP/IP System auf Basis von Ethernet gewählt um sowohl direkt bestehende Infrastrukturen als auch zukünftige, z.B. Überwachungs- und Testsysteme, ohne weitere Kosten mit in das System zu integrieren.

Das System ist redundant in seinen Eigenschaften wie:

- Brandbekämpfung mit 2 Monitoren (obwohl in den meisten Fällen ein Monitor ausreichen würde)
- Brandbekämpfung von 2 Seiten
- die ringförmige Hauptstromversorgung der „Lookout points“ erfolgt jeweils von beiden Seiten getrennt und unabhängig voneinander
- doppelte ringförmige Datenkommunikation (beide mit Glasfaser und Draht) können getrennt und unabhängig voneinander von beiden Seiten ausgeführt werden

### Einfache Systeminstallation

Das System kann einfach in neue und bestehende Straßen-, Eisenbahn und U-Bahntunnel installiert werden. Es besteht keine Notwendigkeit den Tunnelverkehr während der Installationszeit ganz zu stoppen.

### Szenarien eines Feuers im Tunnel

#### Szenario 1

Bei der Zusammenstellung der Simulationsvoraussetzungen und dem zugrunde liegenden mathematischen Modell des Tunnels wurde darauf geachtet die Simulation und damit die Rechenzeit in einem vernünftigen Rahmen zu halten ohne jedoch zusätzliche vereinfachende Hypothesen anzunehmen die die Aussagekraft der Ergebnisse in irgend einer Weise beeinträchtigen könnten.

Es wurde ein Tunnel in Betracht gezogen der durch seine geometrische Form sowohl für Straßentunnel als auch Autobahntunnel repräsentativ ist. Der betrachtete Tunnel ist traditionell der Einfachheit halber geradlinig und eben und seine Länge beträgt 1000 Meter. Die Breite des Tunnels wird mit 10 Meter angenommen und seine maximale Höhe mit 7 Meter.

Das angenommene Feuer befindet sich etwa in der Mitte des Tunnels

Es wird ein gravierendes Feuer in einem Fahrzeug vorausgesetzt das aufgrund seiner Materialbeschaffenheit eine Stärke von 80MW entwickelt. Die mathematische Berechnung ist beschränkt auf eine Länge von 100 Metern und hat folglich eine symmetrische Ausbreitung des Brandes bezüglich des Ursprungs des Feuers. In den Fällen in denen die Simulation für einen Tunnel mit Zwangsbelüftung erfolgt wird angenommen, dass es sich um eine kräftige Belüftung handelt die während des gesamten Zeitraums in Betrieb bleibt und den Tunnel mit konstanter Luftgeschwindigkeit durchlüftet.



Die Geschwindigkeit der Luftbewegung wird in diesen Fällen mit 3m/sec vorausgesetzt obwohl in einem realen Tunnel bei Gefahr die Belüftung natürlich hoch gesetzt wird.

In allen Simulationsszenarien finden virtuelle Sonden Anwendung die die Effekte auf die Temperatur und die Rauchentwicklung positionsgenau wiedergeben und in Diagrammen zum zeitlichen Temperaturverlauf (Analyse nach „Flush-Over“, Bewertung der Widerstandsfähigkeit der Tunnelstruktur) und in der Darstellung der Sichtbarkeit (Analyse vor „Flush-Over“, Bewertung der rauchfreien Höhe und folglich der Fluchtmöglichkeiten) wieder zu finden sind. Außerdem gibt es eine Bewertung der Fluchtmöglichkeiten von Personen im involvierten Bereich.

Des Weiteren wird angenommen, dass im Tunnel, neben der normgerechten Minimalausstattung (Hydranten), auch ein Löschesystem mit elektrisch fernsteuerbaren Monitoren und automatischem oder halbautomatischem ferngesteuerten Löscheinsatz befindet. Dies sind 2 Monitore, je einer vor und hinter dem Feuer, im Abstand von 42 Meter mit einer Leistung von je 1000 Liter/Minute bei einem Druck von 8bar an der Düse.

Die Hydranten, installiert im Abstand von 150m, sind mit in die Löscharbeit mit einbezogen und werden über die gleiche Leitung versorgt. Die Benutzung der Hydranten setzte jedoch erst mit der Ankunft der Feuerwehrleute ein, während das System mit automatisch ferngesteuerten Monitoren bereits 4 Minuten nach Brandausbruch einsatzbereit ist.

### Szenario 2

Es wird angenommen, dass der Tunnel einzig und allein mit Einrichtungen nach Dlgs. 264/2006 ausgestattet ist. Im Besonderen sind im gesamten Tunnel Hydranten im Abstand von 150 Meter verfügbar (Diese Bedingung ist strenger als die nach der Norm, aber entspricht der technischen Ausstattung vieler Straßentunnel).

Die Hydranten sind alle an eine Ringleitung angeschlossen und werden von einer Pumpstation versorgt mit einer Leistung von 600 Liter/Minute und einem Druck nicht unter 4 bar.

Der Löscheinsatz erfolgt durch die Feuerwehr nach ihrer Alarmierung.

Wie im vorhergehenden Fall wird angenommen, dass die gesamte Mannschaft perfekt mit allem Nötigen zum individuellen Schutz ausgestattet ist und die Feuerwehrleute deswegen einer Umgebungstemperatur bis zu 100 Grad, giftigem Gas und einer Sichtweite von weniger als 2m widerstehen können. Dieses Szenario sieht folglich vor, dass alle Löscharbeiten von der Feuerwehrmannschaft erledigt werden

Nach Beurteilung der durchschnittlichen Alarmierungszeit vieler Feuerwehreinsätze ist anzunehmen, dass die Feuerwehrleute ihren Löscheinsatz vor Ort schon innerhalb von 20 Minuten nach Brandausbruch beginnen. Offenkundig entsprechen diese angenommenen Zeiten eher idealen Bedingungen und müssen daher als optimistisch betrachtet werden.

### Simulation des Feuers

Der hier verwendete Simulator FDS (Fire Dynamics Simulator) wurde entwickelt von Forschern des NIST - National Institute of Standards and Technology. Das zugrundeliegende Modell ist CFD (Computational Fluid Dynamics), besser gesagt ein mathematisches Rechenmodell der Fluid-Dynamik angewendet auf Fluide bewegt durch Feuer.

Kurz gesagt, FDS löst numerisch eine Form der Navier-Stokes-Gleichungen adaptiert an eine Strömung geringer Geschwindigkeit mit besonderer Berücksichtigung des Transports von Rauch und Wärme verursacht durch das Feuer. Ein anderes zu nennendes Programm ist „Smokeview“, das benützt wird um die Ergebnisse der Simulation mit FDS darzustellen.

FDS und „Smokeview“ wurden im Jahre 2000 veröffentlicht.

Während der Ermittlungen des NIST zum Einsturz des World Trade Centers wurde die Notwendigkeit erkannt FDS zu erweitern um ein effektives Instrument zur Bestimmung des Ausgangspunkt eines Brandes zu haben. Im Jahre 2005 erfuhr FDS mit der Entwicklung der neu-



en Version 5 eine wichtige Neuerung durch die Steigerung der Flexibilität und der Funktionalität der Modellierung. Der Name FDS ist wohlbekannt und anerkannt für Anwendungen im Bereich Fire Safety Engineering (FSE).

### Simulation der Evakuierung

Das verwendete Modell ist EVAC des VTT (Technical Research Centre of Finland) und wird von NIST verbreitet. Grundlage der Modellierung sind die Eigenschaften der Menschen im Tunnel (wie jung/alt oder schnell/träge) und die laufenden Ergebnisse der fortschreitenden Simulation (Entstehung von Verbrennungsprodukten wie Rauch, CO, CO<sub>2</sub>) berechnet durch FDS. Die zwei Modelle FDS und EVAC arbeiten gemeinschaftlich an einer Rechen-Session.

Das Ergebnis der Modellierung ist dann das typische Verhalten Einzelner und das gemeinschaftliche Verhalten aller auf ihrem Weg zu einem Ausgang

Das Modell erlaubt eine Aussage über die statistische örtliche Verteilung der Menschen während des Erkennens, der ersten Bewegung und der Geschwindigkeit der Flucht in Abhängigkeit von vorgegebenem Verhalten (träge, mittel, schnell) und ebenso die Effekte einiger Verbrennungsprodukte durch Berechnung der FED (Fractional Effective Dose).

### Verwendete Rechner

Für die Berechnung wurden Computer mit Intel Core i7-930 Prozessoren mit einer Taktfrequenz von 2.8GHz verwendet. Derartige Prozessoren, sie basieren auf der Intel-Architektur „Bloomfield“ und sind in einem 45nm Prozess hergestellt, enthalten 731 Millionen Transistoren. Sie haben 4 Cores (Prozessorkerne) und unterstützen die Parallelverarbeitung mit bis zu 8 Threads dank der Hyper-Threading Technologie und einem Second Level Cache bis zu 8MB. Die Verbindung zum Motherboard erfolgt mit einem Socket FCLGA 1366 die auch einen BUS QPI zur Peripherie des Systems mit 4,8 Milliarden Datentransfers pro Sekunde und 3 Kommunikationskanäle zu anderen Speicherbänken umfasst. Die Rechner waren mit 12 GB Ram vom Typ DDR3 mit einer Geschwindigkeit von 1600 MHz ausgestattet die bei 3 Kommunikationskanälen eine optimale Ausnutzung der typischen Bandbreite des Prozessors von 25.6 GB/s bedeutet. Die Videokarte war jeweils eine OpenGL kompatible Graphikkarte mit 1GB Speicher GDDR3.

Um auch wirklich die Hardwareleistung voll nutzen zu können wurde das Betriebssystem Windows 7 mit 64Bit eingesetzt, das auch die Speichergrenze von 3GByte von 32Bit Systemen überwindet und weitere 64Bit Parallelverarbeitungsbefehle der CPU, wie sie typisch in der neuesten Generation vorhanden sind, nutzt.

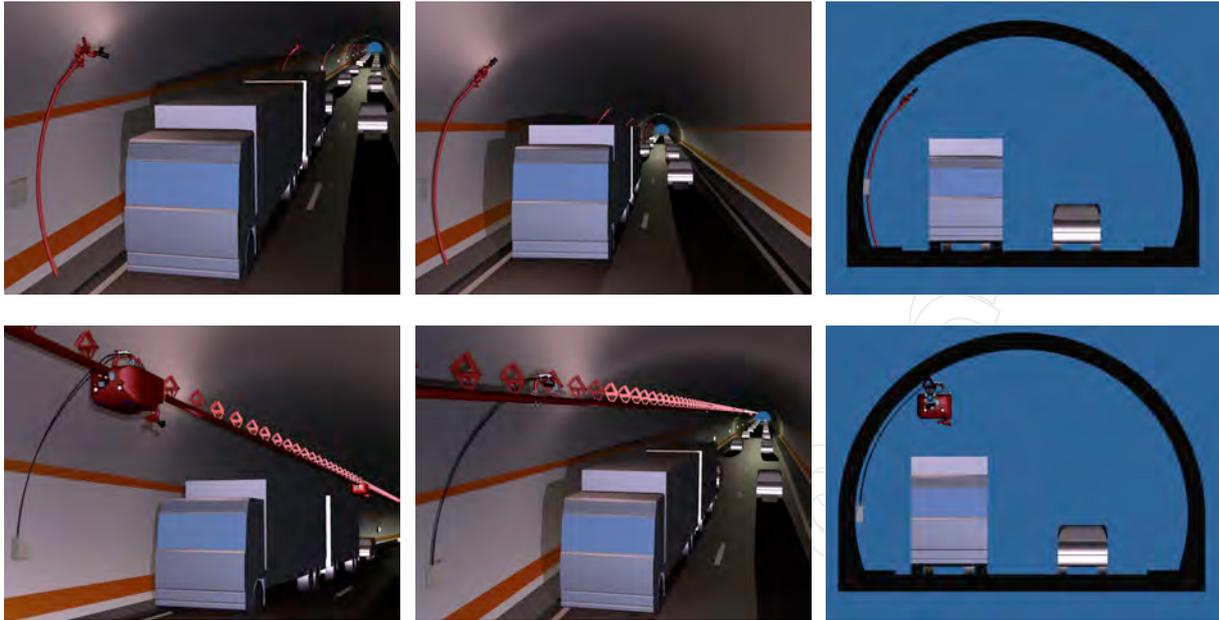
### Visualisierung der Ergebnisse

#### Umgebungsbedingungen der Tests

Die Umgebungsbedingungen im Tunnel sind in den vier Testbedingungen identisch. Die Tests selbst unterscheiden sich nur darin dass einmal eine starke Zwangsbelüftung vorhanden ist bzw. nicht vorhanden ist und dass natürlich einmal eine Löschanlage mit ferngesteuerten Monitoren eingebaut ist und das andere Mal nicht.

Der Einfluss der ferngesteuerten Monitore (falls vorhanden) auf die Ergebnisse kann sowohl für die Version mit fest eingebauten Monitoren als auch für die Version mit mobilen Monitoren dargestellt sein. Die Löscheinleistungen der zwei Versionen sind in der Tat identisch.

In den folgenden Bildern sind die zwei typischen Testanordnungen für beide Versionen dargestellt.



### Ergebnisse der Simulationen ohne Zwangsbelüftung

Es werden die Ergebnisse der Simulation für Szenario 1 (Monitore im Tunnel installiert) und Szenario 2 (nur Hydranten im Tunnel installiert) (Seite 11 und 13) dargestellt.

Die Simulation umfasst einen Gesamtzeitraum von 30 Minuten (1800 Sekunden); es werden die Ergebnisse für 241, 600, 900, 1.200 und 1.800 Sekunden aufgeführt.

Im ersten Fall werden die Monitore automatisch nach 4 Minuten (240 Sekunden) aktiviert, während die Hydranten nach 20 Minuten (1200 Sekunden), mit dem angenommenem Eintreffen der Feuerwehr in Betrieb sind. Wie zu sehen sind die Ergebnisse bis zum Löscheinsatz der Monitore in beiden Fällen gleich.

Für jeden Zeitpunkt werden die Ergebnisse in einem Längsschnitt entlang des Tunnels und 4 Querschnitten in verschiedenen Abständen vom Brandherd graphisch dargestellt. In weiteren Darstellungen sind der Fortgang von HRR (Heat Release Rate) für die beiden Szenarien und der zeitliche Verlauf der Temperatur für 18m und 60m vom Brandherd entfernt aufgezeigt (immer parallel für beide Szenarien).

### Ergebnisse der Simulation mit starker Zwangsbelüftung

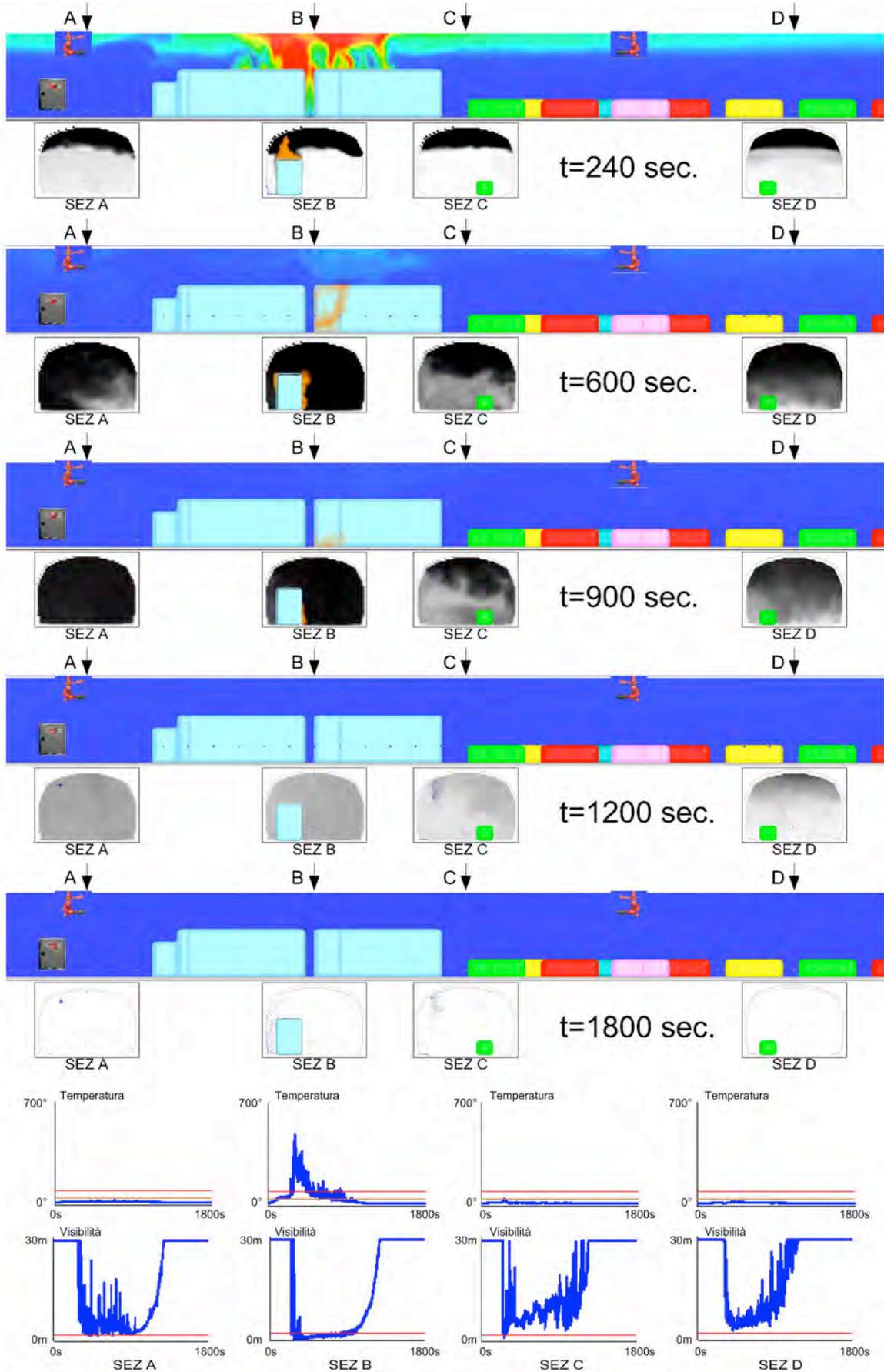
Auch hier werden die Ergebnisse der Simulation für Szenario 1 (Monitore im Tunnel installiert) und Szenario 2 (nur Hydranten im Tunnel installiert) (Seite 14 und 15) dargestellt.

Die Simulation umfasst ebenfalls einen Gesamtzeitraum von 30 Minuten (1800 Sekunden) und zum genauen Vergleich werden ebenfalls die Ergebnisse für 241, 600, 900, 1.200 und 1.800 Sekunden aufgeführt.

Auch die Zeiten der Aktivierung der Monitore im Szenario 1 und der Hydranten im Szenario 2 bleiben gleich (4 Minuten und andernfalls 20 Minuten).

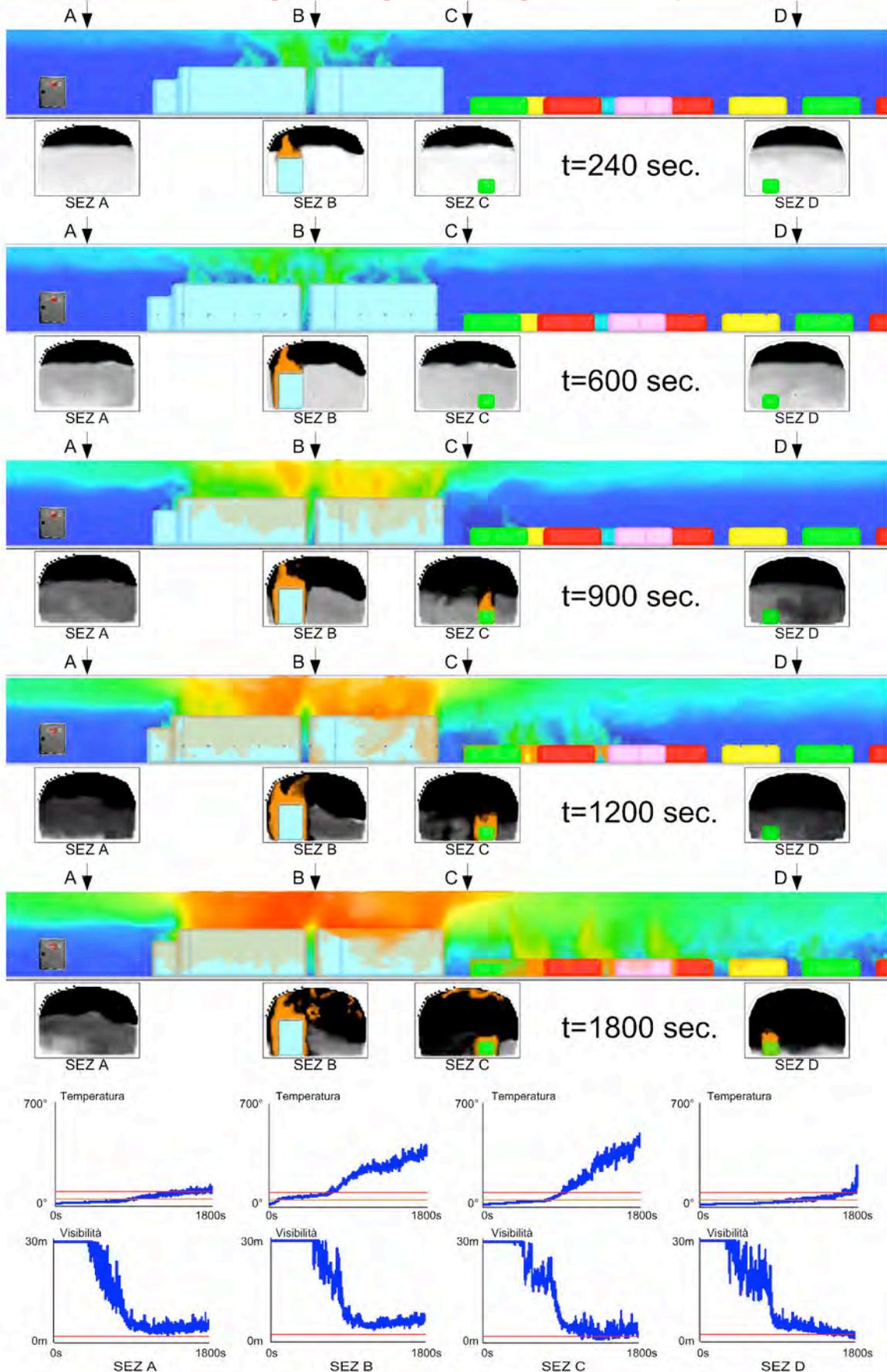
Für jeden Zeitpunkt werden wiederum die Ergebnisse in einem Längsschnitt entlang des Tunnels und 4 Querschnitten in verschiedenen Abständen vom Brandherd graphisch dargestellt. In weiteren Darstellungen sind der Fortgang von HRR (Heat Release Rate) für die beiden Szenarien und der zeitliche Verlauf der Temperatur für die gleichen Abstände vom Brandherd entfernt aufgezeigt

### Feuer im Tunnel ohne Zwangsbelüftung und ausgestattet mit Monitoren



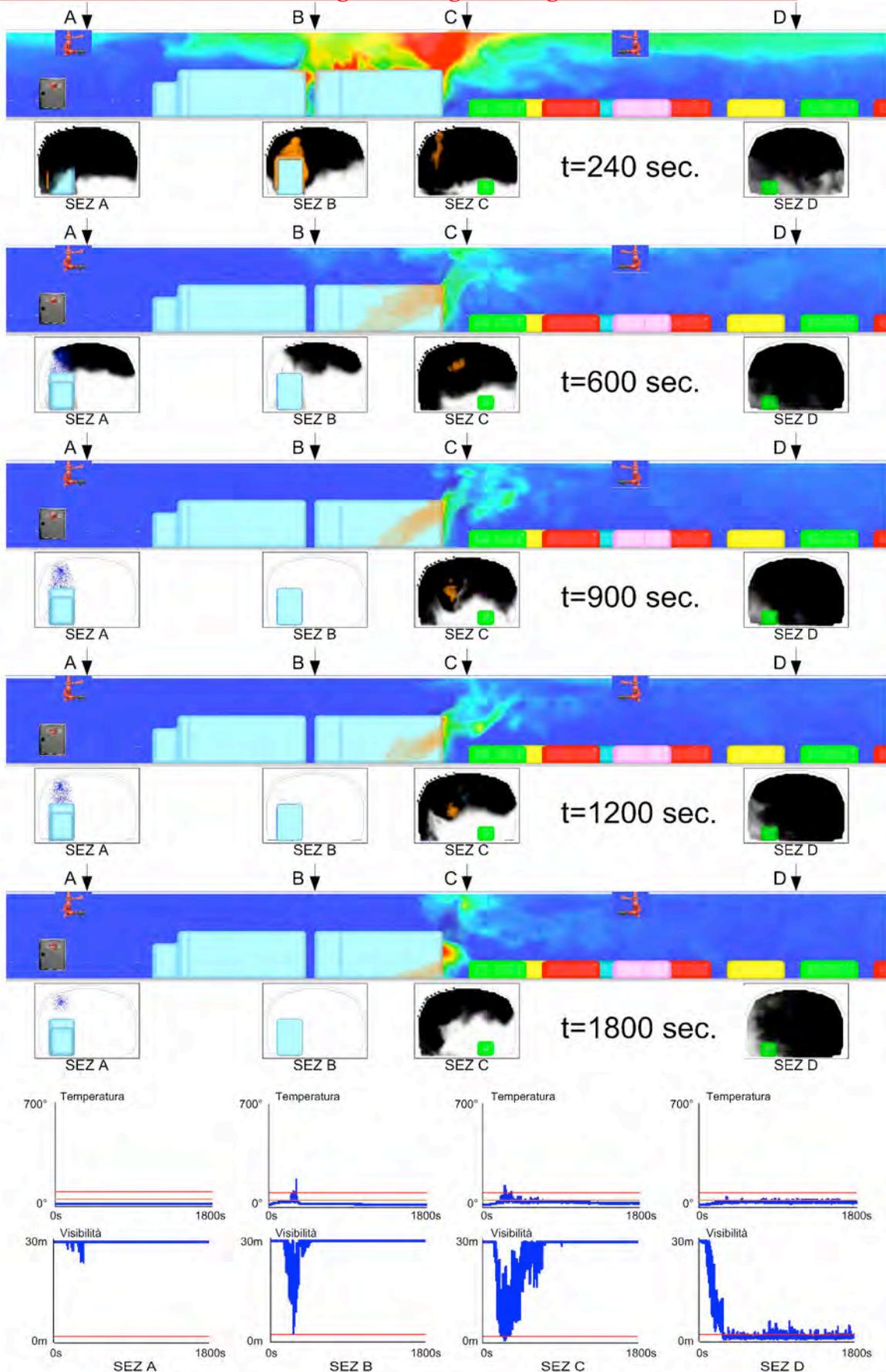


**Feuer im Tunnel ohne Zwangsbelüftung und nur ausgestattet mit Hydranten**



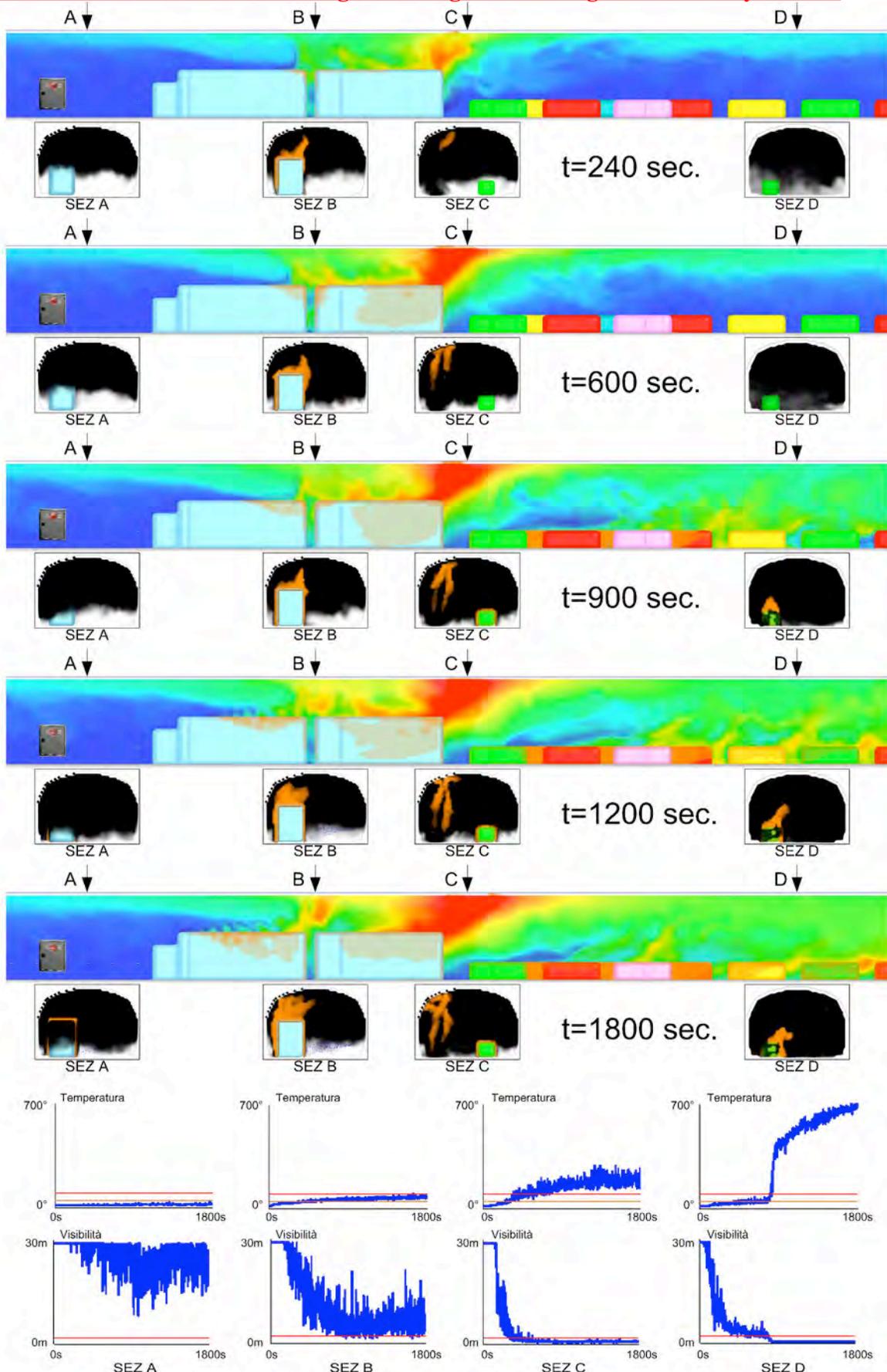


**Feuer im Tunnel mit starker Zwangsbelüftung und ausgestattet mit Monitoren**



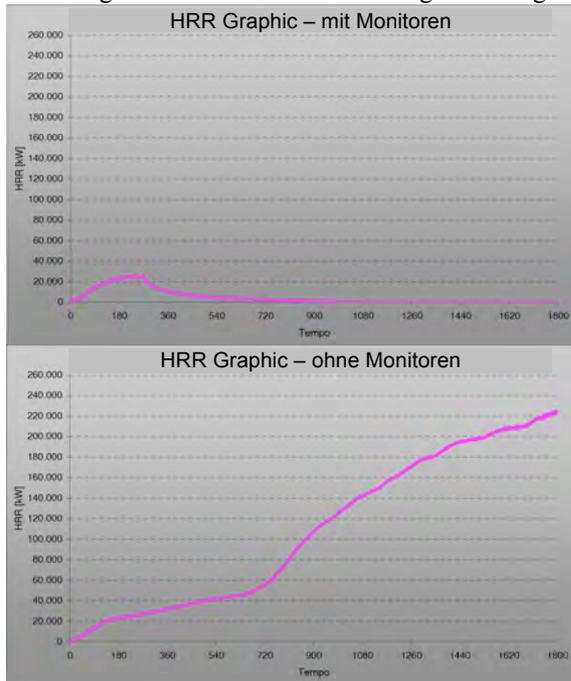


**Feuer im Tunnel mit starker Zwangsbelüftung und nur ausgestattet mit Hydranten**

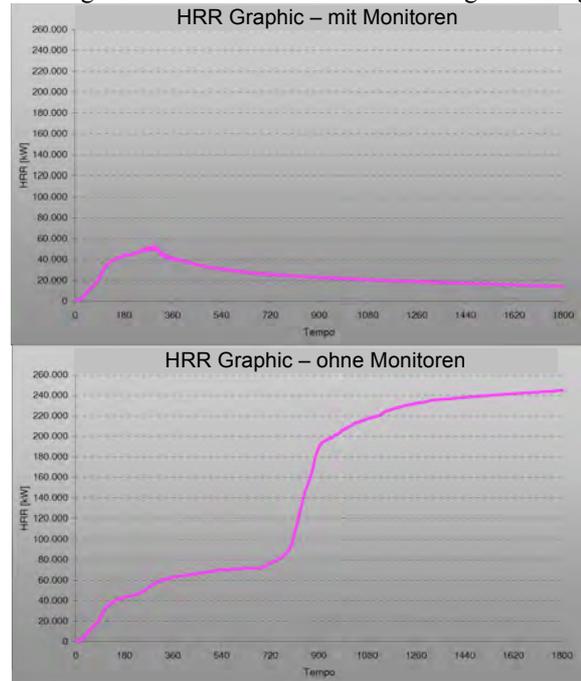




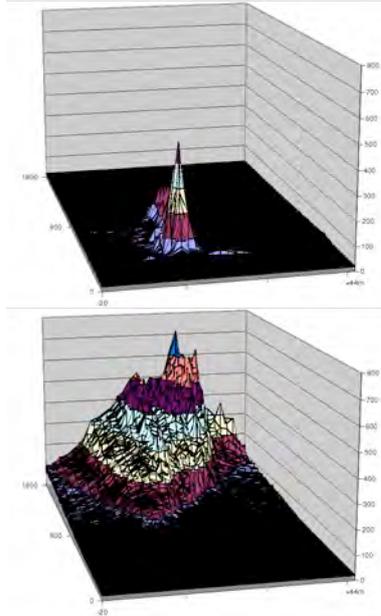
HRR gesamt im Tunnel ohne Zwangsbelüftung



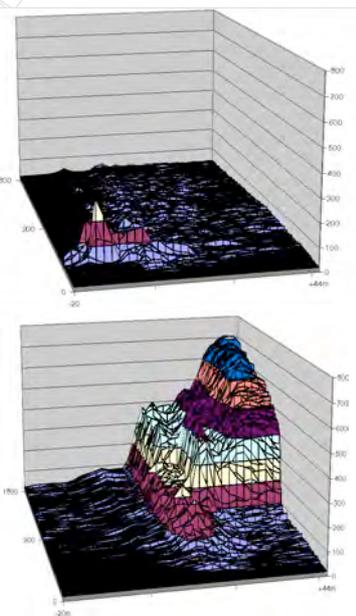
HRR gesamt im Tunnel mit starker Zwangsbelüftung



zeitlicher Verlauf der Temperatur in einer Höhe von h=1,60

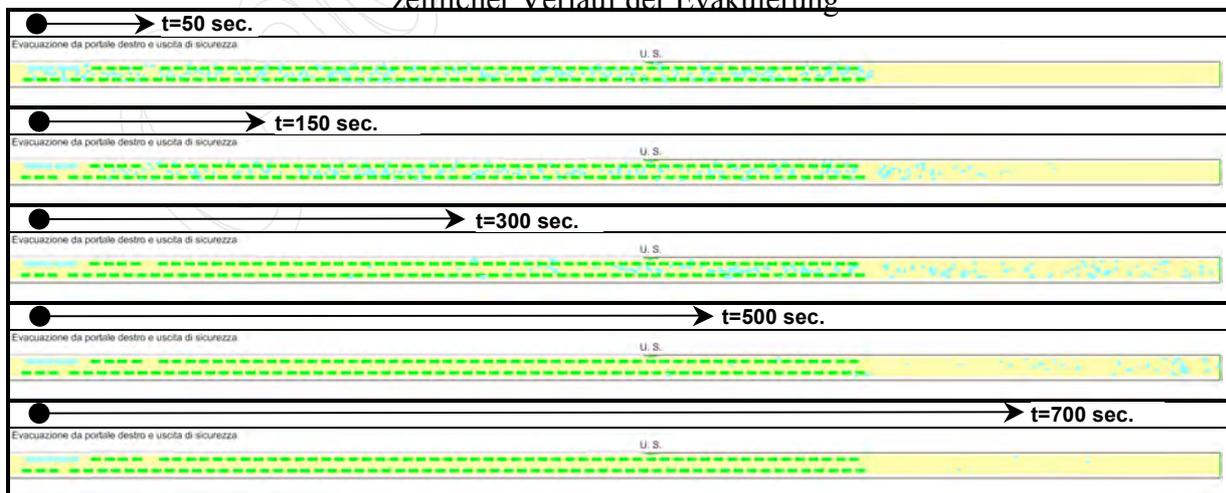


mit Monitoren



ohne Monitoren

zeitlicher Verlauf der Evakuierung

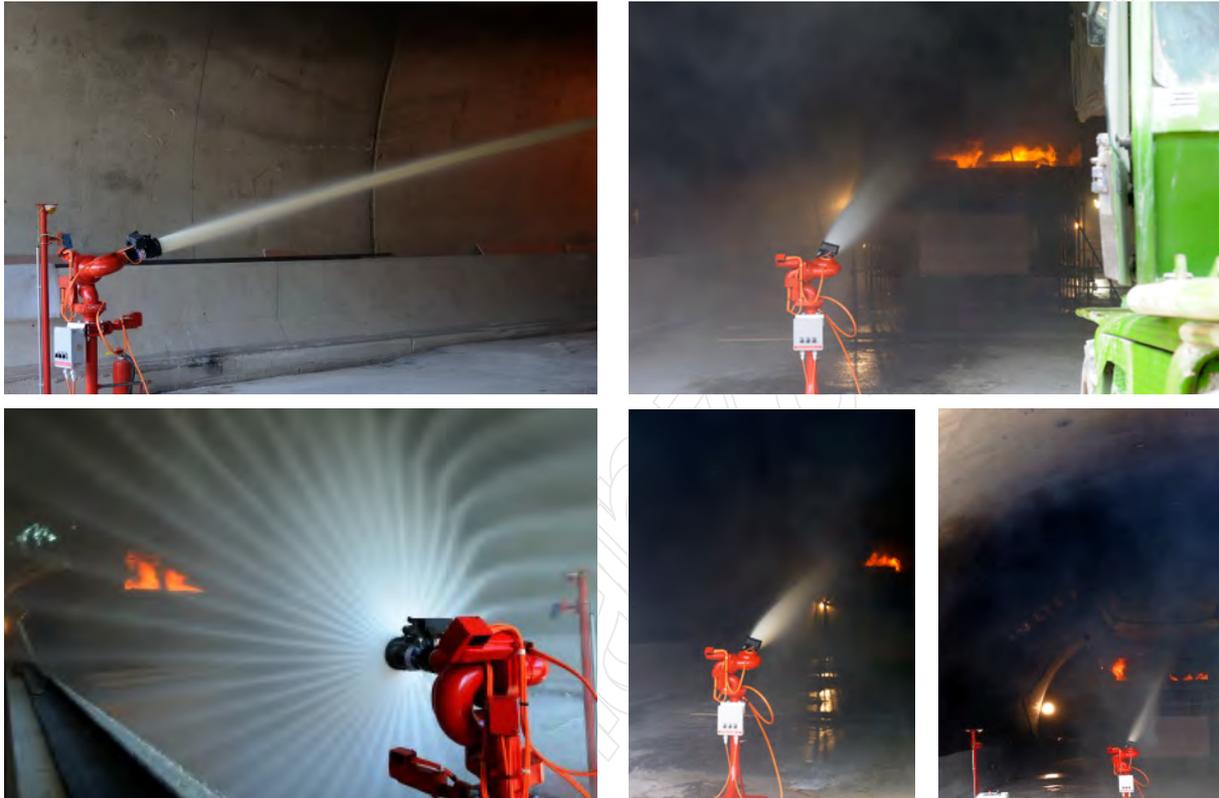


### Ergebnisse der experimentellen Tests

Im Folgenden werden einige Bildsequenzen gezeigt die bei realen Tests im Tunnel aufgenommen wurden

Die Tests fanden statt in den Tunnel „Santa Croce“ auf der „Strada dei Marmi“ bei Carrara, im U-Bahntunnel und im Straßentunnel der Feuerwehrscheule in Montelibretti (Roma).

#### Santa Croce - Strada dei Marmi – Carrara



#### Montelibretti (Fahrzeugbrand)





Montelibretti (Treibstoffbrand)





„Galleria metropolitana“ Montelibretti



Das automatische Feuerlöschsystem für Tunnel mit ferngesteuerten Monitoren und Schienensystem an der Decke ist geschützt durch folgende Patente:

Patent IT 0001382038 und IT 0001387359