

## Brandschutz im Eurotunnel

St. Kratzmeir

Mit ca. 50 km ist der Eurotunnel zwischen dem französischen Coquelles und dem englischen Folkestone der derzeit längste Eisenbahntunnel der Welt. Die Eurostar-Züge verkehren zwischen London und Paris sowie London und Brüssel durch den Ärmelkanaltunnel. Zusammen mit den Auto- und Lkw-Zügen unterqueren täglich rd. 48.000 Menschen per Bahn den Ärmelkanal. Während die Pkw in komplett geschlossenen Wagen transportiert werden und die Passagiere während der Durchfahrt in ihrem Fahrzeug bleiben, werden die Lkw in speziellen Transportwagen (Shuttle-Zügen) befördert. Die Fahrer halten sich während der Durchfahrt in einem speziellen Club-Waggon auf, der am Anfang oder am Ende des Zuges mitgeführt wird.

In den Jahren 1996 und 2008 kam es auf diesen Lkw-Transportzügen zu schweren Bränden während der 35 Minuten dauernden Durchfahrt. In beiden Fällen konnten glücklicherweise alle Passagiere rechtzeitig über den in der Mitte des Tunnels befindlichen Servicetunnel evakuiert werden, sodass es hier zu keinen Toten und nur wenigen Verletzten

Stefan Kratzmeir, Wissenschaftlicher Leiter, IFAB Institut für angewandte Brandschutzforschung, Rostock/D

kam. Bei den Bränden zeigte sich jedoch, dass es für die eingesetzten britischen und französischen Feuerwehrrkräfte außerordentlich schwer war, den Brandherd zu erreichen und wirkungsvolle Brandbekämpfungsmaßnahmen durchzuführen. Im weiteren Verlauf des Brandes kam es durch die hohen Temperaturen von bis zu 1300°C zu erheblichen Schäden am Tunnel sowie an der Betriebseinrichtung. Nach dem Brand im Jahr 1996 wurde die Tunnelröhre für ca. 7 Monate gesperrt. Der Schaden wurde auf ca. 250 Mio. Euro beziffert. Beim Brand im Jahr 2008 waren die Auswirkungen mit einer Sperrzeit von wenigen Tagen geringer, dennoch dauerte es bis in das Jahr 2009, bis der Betrieb in dem vom Brand betroffenen Bereich wieder vollständig freigegeben werden konnte.

### „Safe-Station“ Konzept

Bereits nach dem Brand im Jahr 1996 wurden umfangreiche Überlegungen über eine brandschutztechnische Ausrüstung der Fahrzeuge unternommen. Aufgrund der Erfahrungen des Brandes von 2008 und weiteren Studien wurde jedoch entschieden, dass jeder Tunnel mit 2 sogenannten Safe Stationen ausgerüstet werden soll. Dabei soll der Lkw Shuttle Zug, auf dem ein Brand erkannt wurde, bis zu einer von zwei Safe Stationen im

## Fire-safety in the Channel Tunnel

St. Kratzmeir

At around 50 km, the Channel Tunnel between Coquelles, in France, and Folkestone, England, is currently the world's longest rail tunnel. It is used by Eurostar trains on their route from London to Paris or Brussels. A total of some 48,000 persons are conveyed by rail under the English Channel every day, when trains carrying cars and lorries are added. Cars are transported in special fully enclosed carriages, the drivers and passengers remaining with their vehicles during the journey, whereas lorries are driven on to special transporter wagons in shuttle trains. The lorry-drivers use a special Club carriage marshalled at the front or back of the train during the journey.

In 1996 and 2008, serious fires occurred during the 35 minute trip on these lorry shuttle trains. Luckily, it was possible to evacuate all persons via the service tunnel at the mid-point of the main tunnel bores, with the result that there were no fatalities and only few serious injuries. These fires showed, however, that the British and French firefighters deployed encountered extreme difficulty in reaching the seat of the fire and applying effective firefighting. The elevated temperatures of up to 1300°C which occurred as the fires continued resulted in significant damage to the tunnel and to its operating equipment. The tunnel bore remained closed for around seven months following the fire in

1996; damage was assessed at around 250 million euro. The effects of the 2008 fire, with a closure period of only a few days, were slighter, but complete clearance for restoration of tunnel operation in the area affected by the fire was possible only in 2009.

### The safe-station concept

Even after the first fire in 1996, extensive consideration was devoted to fire-safety equipping of vehicles. On the basis of the experience gained from the fire of 2008, and from further studies, it was decided to equip each tunnel with two so-called safe stations. The lorry shuttle on which a fire has been detected will in future continue to one of these safe stations in the tunnel, and then stop there at a precisely predetermined point, in order that the passengers in the Club carriage can be evacuated to safety immediately via an emergency exit into the other tunnel bore. The lorry fire on the shuttle wagon can then be precisely located and brought under control by means of an automatic firefighting system. The aim is that further spread of the fire should

Stefan Kratzmeir, Scientific Manager, IFAB Institute for applied fire safety research, Rostock/D

Tunnel fahren und dort an einer vorbestimmten Stelle zum Stehen kommen, sodass die Passagiere aus dem Club-Waggon unmittelbar über einen Notausgang in die anderen Tunnelröhren in Sicherheit gebracht werden können. Gleichzeitig soll der Lkw-Brand auf dem Shuttle-Waggon erst genau lokalisiert und durch eine automatische Brandbekämpfungsanlage unter Kontrolle gebracht werden. Damit soll erreicht werden, dass die weitere Brandausbreitung deutlich eingegrenzt wird und die Einsatzkräfte einfacher und schneller zum Brandherd vordringen können. Gleichzeitig sollen die Schäden am Bauwerk und an der Betriebseinrichtung zusammen mit den Kosten durch Reparatur und Betriebsunterbrechung, im Vergleich zu den vorangegangenen Bränden, deutlich reduziert werden.

Im Auftrag der Betreibergesellschaft Eurotunnel wurde durch BG Bonnard & Gardel eine Studie durchgeführt, die zeigt, dass im ungünstigsten Fall ein Brand auf einem Shuttle Zug eine Größe von 200 MW erreichen kann bis die Löschanlage aktiviert wird. Dabei wurden neben der maximalen Fahrzeit des Zuges bis zur Safe Station auch die komplexen Ventilationsbedingungen durch den Fahrtwind sowie eine mehrmalige Strömungsumkehr aufgrund von Kolbeneffekten des Zuges beim Halten und der Brandnotfalllüftung betrachtet.

In einem weiteren Schritt wurde die wirtschaftliche und technische Machbarkeit und Wirksamkeit von verschiedenen Systemtechnologien untersucht. Dabei wurden Sprühflutanlagen, Schaumlöschanlagen und Wassernebelanlagen nebeneinander betrachtet. Aufgrund der begrenzten Kapazität der Wasserversorgung und Wasserableitung im Tunnel wurden herkömmliche Sprüh-

flutanlagen als wenig geeignet bewertet. Aufgrund eines deutlich höheren Installationsaufwandes, einer komplexeren Systemtechnik sowie einer möglichen Gefährdung von z. B. am Boden liegenden Personen wurde das Konzept einer Schaumlöschanlage ebenfalls verworfen. Verstärkt wurde diese Entscheidung durch die Kenntnis, dass nach einer Auslösung der Schaumlöschanlage umfangreiche Reinigungsarbeiten nötig würden und Korrosion entstehen könnte.

Für das Konzept der Safe Stationen wurde von der Betreibergesellschaft sowie dem bilateralen Regierungssicherheitskomitee entschieden, dass eine Absicherung durch eine Hochdruck-Wassernebelanlage (HDWN-Anlage) erfolgen soll. Vergleichbare Anlagen befinden sich bereits in diversen Straßentunneln in Europa im Einsatz.

### Wassernebel für die Safe Stationen

Die Wassernebeltechnologie basiert auf der Verwendung von kleinsten Wassertröpfchen, die durch ihre große spezifische Oberfläche innerhalb kürzester Zeit verdampfen und dadurch im Vergleich zu herkömmlichen Wasserlöschanlagen dem Feuer eine sehr große Energiemenge entziehen können. Dadurch kommt es unmittelbar nach Aktivierung der Anlage zu einer schnellen Kühlwirkung. Des Weiteren wird durch die feinen Wassertropfen die Wärmestrahlung zu einem Teil absorbiert, was zu einer Verringerung der Einwirkung auf Bauteile und zu einer einfacheren Arbeit der Rettungskräfte führt.

Die HDWN-Anlage in jeder Safe Station hat pro Tunnelröhre eine Länge von 870 m und ist in 29 Sektionen unterteilt. Im Fall eines Brandes können bis zu 3 Sektionen gleichzeitig aktiviert werden.



1 Nachbildung des Eurotunnel-Querschnitts für Brandversuche

1 Replica of the Channel Tunnel cross-section for fire-test purposes

be significantly lessened, and that the firefighters can reach the seat of the fire more easily and more quickly. A simultaneous target is the significant reduction of damage to the tunnel structure and equipment, and of the costs for repairs and interruption to traffic compared to the aftermath of the previous fires.

On behalf of Eurotunnel, the tunnel operator, consultant engineers BG Bonnard & Gardel drafted a study which shows that, in the worst-case scenario, a fire on a shuttle train is capable of reaching a heat release rate of 200 MW before the extinguishing system is activated. Not only the train's maximum travelling time to the safe station, but also the complex ventilation conditions resulting from its slipstream, and multiple flow reversals due to pumping effects caused by the train in stopping and by the emergency fire ventilation system, were analysed.

A further stage examined the economic and technical feasibility, and the effectiveness, of various technologies. Spray deluge, foam extinguishing and water-mist systems were studied in parallel. Conventional

spray deluge systems were found to be only poorly suitable, due to the limited capacity for water supply and removal in the tunnel. The concept of a foam extinguishing system was also rejected, in view of its significantly higher installation costs, more complex technology and possible hazard for injured or unconscious persons on the tunnel floor, for example. This decision was also backed up by the fact that tripping of a foam extinguishing system would subsequently necessitate extensive cleaning work, and a risk of corrosion.

The operator and the bilateral government safety committee decided in favour of a high-pressure water-mist (HPWM) system for the safe-station concept. Similar systems are already installed in a number of road tunnels in Europe.

### Water mist for safe stations

Water-mist technology is based on the use of ultra-fine droplets of water which, due to their large specific surface area, evaporate within an extremely short time and are thus able, unlike conventional water-ex-

Die Wasserversorgung erfolgt in jeder Doppel-Safe Station über einer zentrale Pumpenanlage, die über eine Hauptleitung im Servicetunnel die einzelnen Bereiche versorgt. Die Erzeugung des Wassernebels erfolgt über spezielle Düsen, die im linken und rechten Deckenbereich oberhalb des Lichtraumprofils angeordnet sind. Da sämtliche Installationen aus hochwertigem Edelstahl hergestellt sind, werden die Rohrleitungen im Bereich der Oberleitung durch eine spezielle Isolierung geschützt. Unabhängige Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bis zu einer Spannung von 30 KV kein Spannungsüberschlag durch Wassernebel stattfindet.

Die Lokalisierung des Brandherdes erfolgt über eine speziell für diesen Anwendungsfall entwickelte Anordnung von linearen Wärmemeldern. Durch die Positionierung von 3 Kabeln im Tunnelquerschnitt wird erreicht, dass selbst kleinere Brände bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten schnell detektiert und ausreichend genau lokalisiert werden können.

Eine weitere Überwachung während eines Brandes kann durch Thermofühler realisiert werden, die in jedem Bereich der HDWN-Anlage installiert sind. Dadurch besteht für die Feuerwehrkräfte und den Betreiber die Möglichkeit, einen möglichen Brand zu überwachen und gegebenenfalls andere Bereiche der HDWN-Anlage zu aktivieren.

Das System wird in zwei Stufen installiert. In einem Prototypsystem, das bis Ende 2010 fertig gestellt wird, wird die Wirksamkeit und die Funktionalität des Gesamtsystems überprüft werden. Dazu zählen auch Brandversuche im Maßstab 1:1, auf die im Folgenden noch eingegangen wird. Vergleichsweise neu für Löschanlagen sind die umfang-



2 Innerhalb weniger Minuten nach Zündung wurden ca. 200 MW erreicht

2 Around 200 MW was reached only a few minutes after ignition

reichen RAMS (Reliability, Availability, Maintainability und Safety) Betrachtungen des Gesamtsystems. Dabei wird nicht nur die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit überprüft und nachgewiesen sondern es werden auch die Lebenszykluskosten des Gesamtsystems betrachtet. Alle 4 Safe Stationen sollen schließlich vor Beginn der olympischen Spiele in London bis zum Ende 2011 fertig gestellt werden.

### Brandversuche bis 200 MW

Gemäß dem Stand der Technik und den aktuellen Regelwerken für Brandbekämpfungsanlagen in Tunneln (z. B. UPTUN R251, NFPA 502) sollte die Wirkungsweise der HDWN-Anlage für den Eurotunnel im Rahmen von Brandversuchen im Maßstab 1:1 nachgewiesen werden. Erwähnenswert ist, dass insbesondere durch die Ventilationsbedingungen und die Größe des zu erwartenden Brandes im Eurotunnel, vergleichbare Anwendungen noch nie zuvor mit Brandbekämpfungsanlagen abgesichert wurden. Weiterhin sollte die Funktionsweise des

extinguishing systems, to absorb from the fire an extremely large quantity of energy. Rapid cooling therefore occurs immediately after activation of the system. The fine droplets of water also absorb a portion of the thermal radiation, reducing the exposure of tunnel components to heat, and facilitating the work of the emergency services.

The HPWM system at each safe station extends for a length of 870 m in both tunnel traffic bores, and is subdivided into twenty-nine sections. Up to three sections can be activated simultaneously in case of fire.

Water for each pair of safe stations is supplied via a central pump installation, which delivers water to the individual zones via a water main installed in the service tunnel. The water mist itself is generated by means of special nozzles installed in the left-hand and right-hand zones of the tunnel roof above the loading profile. The pipes – which, like all the system equipment, consist of high-quality stainless steel – are screened off from the high-voltage overhead power-supply line by means of a special insulation system. Independent studies

have demonstrated that water mist will not cause arcing, even up to a voltage of 30 KV.

Location of the seat of the fire is accomplished by means of an array of linear heat detectors developed specially for this application. The positioning of three detector cables in the tunnel cross-section means that even minor fires at higher flow velocities can be quickly detected and located with adequate accuracy.

A further monitoring function during a fire can be implemented by means of thermosensors installed in every zone of the HPWM system. This enables the firefighters and tunnel operator to monitor a possible fire and activate other sectors of the HPWM system if necessary.

The system is being installed in two phases. A system prototype is to be completed by the end of 2010 and will be used to verify the effectiveness and correct functioning of the system as a whole. This programme also includes 1:1-scale fire tests, which will be discussed below. A relative innovation for extinguisher systems are the extensive RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) analyses of the complete system. Not only will the reliability and availability of the systems be verified and demonstrated in this context, the life-cycle costs of the overall installation will also be quantified. All four safe stations are to be completed by the end of 2011, well ahead of the start of the London Olympic Games in 2012.

### Fire tests up to 200 MW

The state-of-the-art and the current standards and codes for firefighting systems in tunnels (e.g. UPTUN R251 and NFPA 502) require that the effectiveness of the HPWM installati-

Branderkennungs- und Lokalisierungssystem nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde durch das IFAB Institut für angewandte Brandschutzforschung (IFAB) im spanischen Versuchstunnel San Pedro des Anes ein umfangreiches Versuchsprogramm durchgeführt und durch weitere Fachleute von STUVA, efectis France und SETEC begleitet. In diesem speziellen Versuchstunnel wurden der Querschnitt des Eurotunnels sowie 2 Lkw nachgebildet (Bild 1). Auf einer Länge von 40 m wurden Nachbauten von Lkw aus Holzpaletten als Brandlast verwendet. Da in diesem besonderen Fall die Wirksamkeit der HDWN-Anlage bei einem Brand von 150 MW nachgewiesen werden sollte wurde eine Zündung der Lkw-Nachbauten mit Dieselpoolfeuern mit einer initialen Brandlast von ca. 25 MW vorgenommen. Nach Erreichen von 150 MW wurde die HDWN-Anlage aktiviert. Um gleichzeitig die Funktionsweise der Brandnotlüftung zu simulieren, wurde zum Zeitpunkt der Aktivierung der HDWN-Anlage eine Strömungsumkehr der Ventilation durchgeführt.

Zur Messwerterfassung der Brandversuche wurden im gesamten Versuchstunnel über 150 Sensoren zu Überwachung von Temperaturen, Wärmestrahlung, Druck, Gaskonzentrationen und Strömungsgeschwindigkeit installiert. Zur Überprüfung der Brandausbreitung wurde auf beiden Seiten der eigentlichen Brandlast in einem Abstand von 1,50 m ein weiteres Zielobjekt aufgestellt.

Nach der Zündung der Initialbrandlast konnte insbesondere durch die Ventilationsgeschwindigkeit eine sehr rasante Brandausbreitung festgestellt werden (Bild 2). So wurde innerhalb weniger Minuten nach Zündung eine Wärmefreisetzung

rate von ca. 200 MW erreicht. Unmittelbar nach der Auslösung der HDWN-Anlage konnte eine deutliche Reduzierung der Temperaturen und Wärmestrahlung in kürzester Zeit festgestellt werden. Insbesondere auch in Kombination mit der Strömungsumkehr durch die Brandnotlüftung konnte weiterhin eine sehr schnelle Reduzierung der Wärmefreisetzungsrates erreicht werden. Damit konnte nachgewiesen werden, dass durch eine schnelle Aktivierung der HDWN-Anlage die Einwirkungen auf die Tunnelinfrastruktur durch den Brand und damit mögliche Schäden deutlich reduziert werden können. Weiterhin wurde auch gezeigt, dass mit aktivierter HDWN-Anlage ein schnelles und vergleichsweise gefahrloses Eingreifen durch die Feuerwehr möglich ist.

### Konzept für lange Bahntunnel

Auch wenn immer mehr Fahrzeuge mit Brandbekämpfungsanlagen in Technik- und Passagierbereichen ausgestattet werden, wurde mit dem Konzept der Safe Stationen eine sinnvolle Möglichkeit entwickelt, Nothaltestellen in langen Bahntunneln zusätzlich abzusichern. Damit kann nicht nur eine Verbesserung der Evakuierungsbedingungen für Personen im Tunnel erreicht werden, sondern ebenfalls direkt die Auswirkungen eines Brandes bekämpft und damit Schäden deutlich reduziert werden. Dies kann sich positiv auf die Reparaturkosten nach einem Brand sowie die Stillstandzeiten auswirken. ☺

on for the Channel Tunnel be demonstrated in 1:1-scale fire tests. It should be noted here that, in view of the ventilation conditions, in particular, and the magnitude of any fire to be anticipated in the Channel Tunnel, no comparable facility has ever before been protected by means of firefighting systems. The effectiveness of the fire-detection and location system is also to be demonstrated. For this reason, the Institute for Applied Fire Safety Research (IFAB) has performed an extensive programme of tests in the San Pedro des Anes test tunnel in Spain, with the assistance of other specialists from STUVA, efectis France and SETEC. The cross-section of the Channel Tunnel and two lorries were replicated in this special test tunnel (Fig. 1). Dummy "lorries" consisting of wooden pallets were used as the fire load along a length of tunnel of 40 m. Since, in this particular case, the effectiveness of the HPWM installation in case of a 150 MW fire was to be demonstrated, the dummy lorries were ignited with diesel-pool fires, with an initial fire load of around 25 MW. The HPWM system was activated when 150 MW was reached. The ventilation flow was reversed simultaneously to activation of the HPWM installation, in order to simulate at the same time the functioning of the emergency fire ventilation system.

More than 150 sensors were installed for monitoring of temperature, thermal radiation, pressure, gas concentrations and flow velocity throughout the test tunnel, in order to obtain measured data from the fire tests. A further "fire target" was positioned at a distance of 1.50 m on both sides of the actual fire load, to permit study of the spread of the fire.

Extremely rapid propagation of the fire was observed fol-

lowing ignition of the initial fire load, as a result, in particular, of ventilation velocity (Fig. 2). A heat release rate of around 200 MW was reached within a few minutes of ignition, for example. A significant reduction in temperatures and thermal radiation were noted after an extremely short time following tripping of the HPWM system. An extremely rapid fall in heat release rate was also achieved, in combination with the reversal of flow due to the emergency fire ventilation system, in particular. It was thus illustrated that rapid activation of the HPWM installation makes it possible to significantly lessen the fire's effects on the tunnel infrastructure, and thus the potential damage. It was also demonstrated that an active HPWM system makes rapid firefighting by the fire-brigade possible, with a simultaneously greatly reduced danger level.

### Concept for long rail tunnels

Despite the fact that ever more vehicles are being equipped with firefighting installations in their equipment and passenger compartments, a rational potential for providing safe emergency stopping points in long rail tunnels has nonetheless now been developed, in the form of the safe-station concept. This permits not only improvement of the evacuation conditions for persons in the tunnel, but also a direct amelioration of the effects of a fire, and thus a significant reduction in fire damage. It therefore has great potential benefits in reducing both repair costs and loss of tunnel availability after a fire. ☺