



INNOVATIVE. FIRE. SYSTEMS.
PASSIVER BRANDSCHUTZ

UNTERWASSERTUNNEL **BJORVIKA in OSLO**

SO WIRD DER WELTWEIT ANSPRUCHSVOLLSTE BRANDSCHUTZ AUSGEFÜHRT



So wird ein maximaler Brandschutz gewährleistet:

Methode zur thermischen Strukturberechnung

Die für Tunnelstrukturen verantwortlichen Ingenieure stützen sich im Allgemeinen auf die Gebäudeentwurfsregeln, und zwar die Euro-Gesetze. Im Allgemeinen wird die Temperatur im Betoninneren berechnet, woraus die Tragfähigkeit hervorgeht. Diese Berechnungen eignen sich gut für zahlreiche Anwendungen, weisen aber Einschränkungen auf. Gemäß der Norm EN 1992-1-2, in der die Euro-Gesetze für Betonstrukturen übernommen werden, sind die Materialmodelle nur für Erhitzungsgeschwindigkeiten zwischen 2 und 50°C/Minute geeignet, weil die Kriechverformungswirkungen nicht explizit berücksichtigt werden. Die norwegischen Behörden vertreten die Ansicht, dass dies zu falschen Ergebnissen führt. Sie zogen es vor, Modelle für Tunnelauskleidungen zu wählen, die auf eine schnellere Erhitzungsgeschwindigkeit ausgerichtet sind und der holländischen RWS-Zeit-Temperaturkurve entsprechen, wo die maximalen Erhitzungsgeschwindigkeiten zwischen 200 - 240 °C /Minute betragen.

UNTERWASSERTUNNEL BJORVIKA – BRANDSCHUTZ mit FIRE BARRIER 135



Belastungen durch Wärmedehnungen in den statisch unbestimmten Strukturen

Zur Bestimmung der am besten geeignete Feuerschutzverkleidung führten schwedische und norwegische Behörden im Zuge des Jahres 2006 eine Serie von Feuertests auf Schwerbeton mit drei verschiedenen Produkten durch und kamen zu folgendem Schluss: Die Feuerbeständigkeit bezüglich Temperatur-Ansprechverhalten und Spalling wurden experimental für verschiedene Betonqualitäten ermittelt. Mit Polypropylen-Faser-verstärktem Beton wurden sehr gute Ergebnisse erzielt. Es bestehen jedoch große Fragen bezüglich des Langzeitverhaltens dieser Fasern, insbesondere was die Frostbeständigkeit und Chlorideindringung anbelangt.



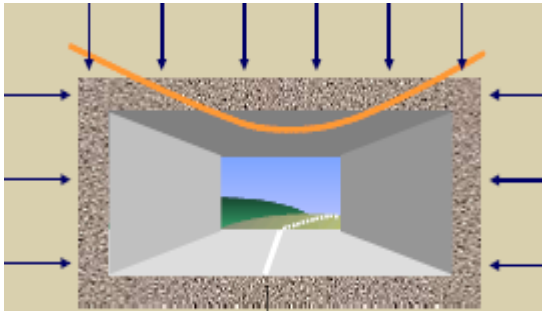
Der weltweit strengste Brandtest für Tunnels

Die Tests, die auf Beton mit bestimmten Schutzvorrichtungen durchgeführt wurden, waren nicht zufrieden stellend, denn obwohl die Ergebnisse der eingesetzten Produkte dokumentiert worden waren, waren die Produkte den extremen Beanspruchungen dieser Testserie nicht gewachsen. In der vorliegenden Studie wurden drei verschiedene Systeme mit einer belasteten Platte mit einer Betondruckkraft von 5.5 Mpa getestet, und alle haben versagt. Dementsprechend publizierte die norwegische Straßenbaubehörde im Juni 2007 (TR-2494) einen Bericht, um ihre Testmethode von Brandschutzsystemen in Tunnels zu beschreiben.

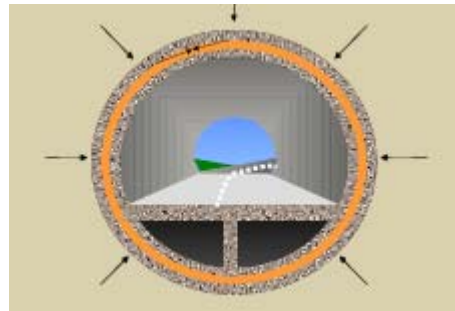
Diese wird gemäß der RWS-Feuerkurve erstellt, wobei der Biegemoment der statisch unbestimmten Struktur bestmöglich wiedergegeben wird, damit das von der ständigen Belastung unter Temperaturerhöhung geschaffene vollplastische Moment simuliert werden kann.



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PASSIVER BRANDSCHUTZ

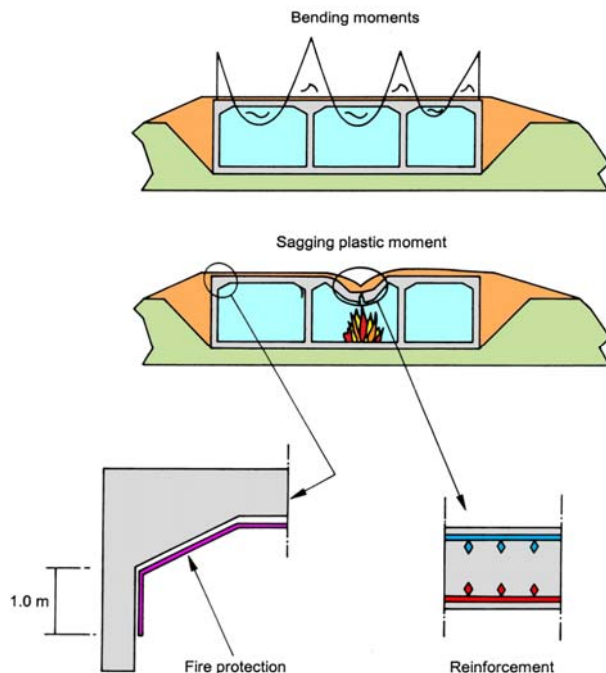


Unterwassertunnel oder überdeckter Einschnitt --



Bohrtunnel

Die Straßenbaubehörde wollte die in Holland durchgeführte Brandtestmethode für Bohrtunnels nicht nachvollziehen, da bei dieser Methode keine der Belastungen, die bei statisch unbestimmten Strukturen zur Anwendung kommen, aufgenommen wird.



Die Brandversuche müssen auf großen nachgespannten Betonelementen ausgeführt werden, die eine Auflagefläche von 3,6 Meter aufweisen und in einen horizontalen Brennofen gelegt werden; die Platte wird einer Belastung von 4644 kN ausgesetzt, um auf der exponierten Seite eine theoretische Druckfestigkeit von 12,9 MPa anzuwenden.

Die norwegischen Behörden haben jedoch die Philosophie des französischen Rundschreibens 2000-63 Empfehlungen März 2005 (Anlage F3.1) übernommen, um den Versuch auf großen belasteten Platten (4 m x 3 m) auszuführen und einer Belastung auszusetzen (Anhang F3.3).

Angesichts dieser kumulierten Anforderungen mit großer Breitenwirkung und Belastung bei einem Brand von 300 MW können wir behaupten, dass Fire Barrier 135 den weltweit anspruchsvollsten Brandtest für Unterwassertunnels und/oder statisch unbestimmte Strukturen bestanden hat.

Die Brandtests müssen in einem Labor mit ISO 9001- oder ISO/IEC 17025-Zertifizierung ausgeführt werden. Es wurde darüber hinaus verlangt, dass das Material auf Frostbeständigkeit gemäß EN 1387-1 (40 Zyklen von -20 °C bis 10°C) geprüft wird, und dass ein Dauerfestigkeitsversuch (50 Millionen Zyklen) sowie Tests bezüglich Hochdruckreinigungsbeständigkeit (150 Bar), Alkali- und Karbonatisierungsbeständigkeit durchgeführt werden.

Die Leistungen des Spritzmörtels Fire Barrier 135:

INNOVATIVE FIRE SYSTEMS, der seit Mai 2003 weltweit exklusive Vertreiber von FIRE BARRIER 135, hat bereits über 35 Verträge für Tunnels in Frankreich, Spanien, Monaco, Italien und Ägypten unterzeichnet. Bei diesem Projekt war Thermal Ceramics der einzige Hersteller, der bereit war, das Risiko einer solch herausfordernden Testserie einzugehen, die eine Investition von mehr als 150 000 EUR darstellt. Weder der Plattenhersteller noch der Hersteller von Spritzmörtel auf Vermiculit-Basis (beide gehören derselben Gruppe an) haben ihre Produkte nach dem Versagen bei der U-Bahn von Malmö in Schweden (2006) neuerlichen Tests unterzogen.

Nach 15 vorhergehenden Feuertests mit FIRE BARRIER 135 in fünf verschiedenen Labors (TNO, CSI, CSTB, SINTEF) unter Berücksichtigung von drei verschiedenen Feuerkurven (RWS, HCinc, ISO), mit verschiedenen Betontypen (Druckfestigkeit zwischen 35 und 76 Mpa), beschlossen INNOVATIVE FIRE SYSTEMS und THERMAL CERAMICS den Auflagen der norwegischen Straßenbaubehörde zu entsprechen. Wir haben ein Jahr lang intensive Tests mit FIREBARRIER 135 durchgeführt.

Einige Tests in Bezug auf Feuerbeständigkeit, physische Merkmale und Langlebigkeit wurden im Schwedischen Nationalinstitut für Versuche und Forschung in Borås durchgeführt. Die Brandbelastung ist für ein 300 MW-Feuer während mindestens zwei Stunden ausgelegt (gemäß der RWS-Feuerkurve). Die Oberflächen waren mit 36 mm dickem FIRE BARRIER 135 geschützt, das seinerseits mit einem 50 mm x 50 mm Drahtgeflecht aus rostfreiem Stahl und 1,9 mm Durchmesser verstärkt war und mit dem Beton mittels Abstandhaltern und Verankerungen alle 40 cm x 40 cm verbunden war. Nach zwei Stunden betrug die durchschnittliche Temperatur an der Schnittstelle weniger als 265°C.

Die Alkalibeständigkeit wurde gemäß der norwegischen Spezifikation getestet. Die Feuerbeständigkeit muss mindestens sechs (6) Wochen bei 23±2 °C / 50±5 % RF vor Testbeginn aushärten/aufbereitet werden. Eine Probeserie (mindestens 5 Untersuchungsproben) wurde zwei (2) Tage in 1N NaOH (1 mol/l Natriumhydroxid) bei 23 ±2°C eingelegt, mit destilliertem Wasser gespült und bei 23±2°C / 50±5 % RF mindestens vier (4) Wochen lang aufbereitet. Parallel dazu wurde eine andere Versuchsserie (mindestens 5 Untersuchungsproben) bei 23±2°C / 50±5 % RF mindestens vier (4) Wochen lang ohne vorherige Alkalieinwirkung aufbereitet.

Anschließend wurde das Haftvermögen gemäß EN 1542:1999 bei beiden Versuchsserien getestet. Das Haftvermögen des Feuerschutzes auf dem Referenzbeton wurde durch die alkalische Einwirkung nicht um mehr als 20 % reduziert, und die Verkleidung zeigte keinerlei Schäden infolge der alkalischen Einwirkung.

Der Karbonisierungswiderstandstest wurde gemäß EN 13295:2004, Karbonisierungswiderstand infolge einer vom Verkehrsaufkommen verursachten CO₂-Reaktion ausgeführt

Der Frostbeständigkeitstest wurde seinerseits gemäß EN 13687-1:2002 ausgeführt. Der Test wird nach 50 vierstündigen Zyklen abgeschlossen.



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PASSIVER BRANDSCHUTZ

Der Test besteht darin, dass der Beton zwei Stunden lang in einen Tank mit einer gesättigten Natriumchloridlösung bei einer Temperatur von $-15\pm 2^{\circ}\text{C}$ eingetaucht und anschließend 2 Stunden in einem Wassertank bei einer Temperatur von $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ gelagert wird.

Der Dauerfestigkeitsversuch wurde gemäß der norwegischen Spezifikation ausgeführt: Der Brandschutz einschließlich der mechanischen Verankerungen entspricht den Anforderungen der Verkehrsbelastungen, denen der Tunnel ausgesetzt ist. Der Tunnel ist für 100.000 Fahrzeuge pro Tag ausgelegt.

Nachstehende dynamische Kräfte hinsichtlich Druck/Ansaugung wurden über 15 Millionen Zyklen hindurch angewandt: (1.97 Kpa Ablösung / 1.56 Kpa Kompression).

Der Hochdruckreinigungsversuch wurde ebenfalls gemäß den norwegischen Spezifikationen ausgeführt. Der Brandschutz und seine Oberflächen müssen periodischen, normalen Tunnelreinigungen standhalten: 120 Reinigungsvorgänge mit 50 bis 150 Bar wurden eine Minute lang pro m^2 mit einem Wasserausstoß zwischen 10 und 25 Liter/min./Düse aus 500 mm Entfernung zwischen den Düsen und dem Feuerschutz ausgeführt, um die gesamte Lebenserwartung zu simulieren.





Anbringung des Spritzmörtels Fire Barrier 135:

INNOVATIVE FIRE SYSTEMS besitzt eine bewährte Erfahrung was die Anwendung des Spritzmörtels Fire Barrier 135 auf Baustellen anbelangt, wo der Faktor Termineinhaltung wesentlich ist. Im Falle des Bjorvika-Tunnels musste I.F.S. über 35.000 m² FIRE BARRIER 135 vor Herbstbeginn verlegen.

I.F.S hat 70 Arbeiter und Techniker eingesetzt. Die Baustellenorganisation sieht Teams vor, die jeweils für die Reinigung der Unterlage, die Montage der Gitter, die Montage der Dehnungsfuge, die Montage der Messschienen zur Messung der Dicke und für das Aufspritzen und Glätten des Mörtels sowie das Entfernen der Messschienen zuständig sind.

Es wurde ein strenger Qualitätssicherungsplan eingerichtet, der folgende Überprüfungen vorsieht: Befestigungspunkte des Gitters, Versuche, die Stifte herauszureißen (100 daN/Einheit), Abstand des Trägers für die Abstandhalter, Ablesung der Mörteldicke. Aber auch Mörtelproben zur Messung der Dichte, des Abbrandes, und der Druckfestigkeit. Das Haftvermögen wird wöchentlich (durchschnittlich, d.h. viermal öfter als vom Kunden verlangt wird) vor Ort getestet.



Die Dehnungsfugen waren Gegenstand einer gemeinsamen Forschung von Statens Vegvesen und INNOVATIVE FIRE SYSTEMS, um die gesamte Fugenproblematik bei Unterwassertunnels zu untersuchen.

- Ein Wasserstopp mit einer zulässigen Höchsttemperatur von 80 Grad, mit einer konstanten RWS Feuerexposition
- Eine angenommene Dehnungsbewegung beträgt 3,5 cm in der Tunnelmitte
- Ein Hochdruckreinigungsbeständigkeit von 150 Bar



IFS hat eine Produktzusammenstellung entwickelt, die aus vorgefertigten und aufgespritzten Fire Barrier 135-Platten besteht und einer Hitzeeinwirkung von 1400 Grad widersteht.



INNOVATIVE. FIRE. SYSTEMS.
PASSIVER BRANDSCHUTZ



UNTERWASSERTUNNEL
BJORVIKA in OSLO

SO WIRD DER WELTWEIT ANSPRUCHSVOLLSTE BRANDSCHUTZ AUSGEFÜHRT

UNTERWASSERTUNNEL BJORVIKA – BRANDSCHUTZ mit FIRE BARRIER 135