

Anwendungen

Erhöhter Brandschutz durch Kunststofffasern im Beton

In den letzten Jahren hat der vorbeugende Brandschutz für Tunnelbauwerke stetig an Bedeutung gewonnen. Aufgrund von Brandkatastrophen in Straßentunneln wurden neue Konzepte entwickelt, die die vorrangige Schutzwirkung dem Tunnelbeton selbst zuweisen: Aus mehreren Forschungsvorhaben und Praxisanwendungen ist mittlerweile bekannt, dass die Zugabe von Kunststofffasern zur deutlichen oder gar vollständigen Reduzierung von explosionsartigen Betonabplatzungen führen kann. Die Bauprojekte „Metro Kopenhagen“ und „Westtangente Bautzen“ sowie die Sanierung des Tunnels in Schlüchtern zeigen einige Anwendungsmöglichkeiten von Kunststofffaserbeton zur Erhöhung des Brandschutzes.

Brandverhalten von Beton in unterirdischen Bauwerken

Tunnelbrände unterscheiden sich von Bränden im Hochbau vor allem durch die Hitzeentwicklung: Bei einem Gebäudebrand werden größere Wärmemengen über Wände, Türen und Fenster abgegeben, sodass nach einer 90minütigen Branddauer etwa 1000°C erreicht werden. Tunnelwände und Felsgestein hingegen leiten die Wärme nur sehr langsam weiter, die Lufttemperatur steigt in einer Tunnelröhre daher innerhalb einer viel kürzeren Zeit auf mindestens 1300°C. Diese Tatsache wird auch in Laborbrandversuchen berücksichtigt: Der thermischen Prüfung von Betonbauteilen, die einem Tunnelbrand widerstehen müssen,

werden in Europa verschiedene tunnelspezifische Zeit-Temperatur-Kurven (z.B. RWS-EBA- und ZTV-ING-Kurve) zugrunde gelegt, während Bauteile für den Hochbau lediglich nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) befeuert werden.

Das Problem herkömmlichen Betons liegt im Brandfall darin, dass das physikalisch und chemisch gebundene Wasser durch den rasanten Temperaturanstieg binnen kürzester Zeit verdampft. Bei diesem Übergang in den gasförmigen Aggregatzustand kommt es zu einer Volumenzunahme des Wassers um das 1000-fache: je dichter die Betonmatrix und je höher der Feuchtegehalt des Betons ist, desto größer ist der sich entwickelnde Dampfdruck. Kann der Dampfdruck nicht oder nicht schnell genug abgebaut werden, sind Betonabplatzungen die Folge. Diese treten bereits nach wenigen Minuten auf und führen sofort zu großflächigen und tief reichenden Beschädigungen an den Bauteilen. Ist erst die Bewehrung freigelegt, dann ist diese dem Feuer ungeschützt ausgesetzt und verliert in der Folge dann schnell ihre tragende Funktion.

Erhöhter Brandschutz durch Kunststofffasern

Internationale Forschungsvorhaben und verschiedene Praxisanwendungen haben gezeigt, dass man diese Brandschäden durch Zusatz von Polypropylen-Kunststofffasern verhindern kann. Hierbei lässt sich folgender Effekt beobachten: Durch den niedrigen Schmelzpunkt von 160°C schmelzen die

Applications

Enhanced Fire Protection through Plastic Fibres in Concrete

Preventive fire protection for tunnels has gained in importance in recent years. Owing to fire disasters in road tunnels new concepts were developed, which have the main purpose of protecting the tunnel concrete. In the interim it is known from a number of research projects and practical applications that adding plastic fibres can lead to substantial or even complete reduction of concrete spalling with an explosive effect. The „Metro Copenhagen“ and „Westtangente Bautzen“ construction projects as well as the redevelopment of the tunnel at Schlüchtern re-

present various opportunities for applying plastic fibre concrete to enhance fire protection.

Fire Behaviour of Concrete in Underground Structures

Tunnel fires differ from fires in surface construction mainly through the heat development: when a building catches fire major quantities of heat are released via walls, doors and windows so that roughly 1,000 °C is attained after a 90-minute fire duration. Tunnel walls and rock for their part only conduct heat very slowly so that the air

DEVO-Tech
 // Apparatebau // Vakuumtechnik /// Tunnelbau //// Fertigungstechnik

Schweres wird ganz leicht.

Überall wo platzsparend und sicher mit schwersten Bauteilen gearbeitet werden muss, ist DEVO-Tech zu Hause. Wir entwickeln Spezialanlagen nach Mass - zum Beispiel für den Tunnelbau.

DEVO-Tech AG
 Hauptstrasse 39 Tel +41 61 935 97 97 info@devo-tech.ch
 CH-4417 Ziefen Fax +41 61 935 97 99 www.devo-tech.ch



Alter Schlüchterner Tunnel (AST) mit neuer Ortbetoninnenschale und PP-Fasern
Old Schlüchterner Tunnel (AST) with new in situ concrete shell and PP fibres

Fasern bereits unmittelbar nach Brandbeginn. Dabei hinterlassen sie feinste Kanäle, durch die das verdampfende Wasser austreten kann ohne den zerstörenden Druck aufzubauen. Es gilt im Prinzip, dass je dünner die Fasern sind und je höher ihre Anzahl ist, desto wirkungsvoller stellt sich der Effekt ein. Aus langjährigen Erfahrungen und zur Sicherstellung einer guten Verarbeit- und Pumpbarkeit des Faserbetons kann allerdings eine maximale Dosierung von 2 kg/m^3 Polypropylen-Kunststofffasern empfohlen werden.

Der Nachweis über die erhöhte Brandbeständigkeit von Kunststofffaserbeton für Tunnelbauprojekte wird in Brandversuchen gemäß der von der Österreichischen Vereinigung

für Beton- und Bautechnik 2004 herausgegebenen Richtlinie geführt. Der ÖVBB-Richtlinie zufolge werden 2 Versuchskörper mit den Abmessungen $180 \times 140 \times 50 \text{ cm}$ über einen Zeitraum von 120 Minuten nach den Vorgaben der RWS-Kurve befeuert. Dem Normalbeton wird die jeweils durch das Projekt definierte Fasermenge zugemischt. Die Proben werden 28 bis 56 Tage klimatisiert gelagert und erst dann getestet. Während der Befeuert werden bereits visuelle und akustische Prüfungen durchgeführt. Eine Viertelstunde nach Brandende werden die Abplatzungen optisch beurteilt. Eine Klassifizierung der BBG-Faserbetonklasse wird nach der genannten Richtlinie nur dann

temperature in a tunnel bore rises to at least $1,300 \text{ }^\circ\text{C}$ within a much shorter time. This fact is also taken into consideration in lab tests. The thermal test for concrete structural parts, which have to resist a tunnel fire, is based on various tunnel-specific time-temperature curves (e.g. RWS-EBA and ZTV-ING Curve) whereas structural parts for surface construction merely have to comply with the uniform temperature time curve (UTTC).

When affected by fire the problem of conventional concrete is that physically or chemically bonded water vaporises within the shortest possible time on account of the rapid increase in temperature. When water is transferred into gaseous form its volume increases 1,000 times:

the vapour pressure develops in accordance with the density of the concrete matrix and the amount of moisture content. If the vapour pressure cannot be released quickly enough the concrete inevitable spalls. This occurs after only a few minutes and immediately leads to large-scale and extensive damage to the structural parts. Should the reinforcement be exposed then this bears the full brunt of the fire so that it loses its bearing function.

Enhanced Fire Protection through Plastic Fibres

International research projects and various practical applications have revealed that this fire damage can be prevented by adding polypropylene plastic fibres. The following effect can be observed here: thanks to the low $160 \text{ }^\circ\text{C}$ melting point the fibres begin to melt immediately after the fire starts. During this phase they leave ultra fine channels behind enabling the vaporising water to escape without destructive pressure building up. The principle applies that the thinner the fibres are and the more there are of them, all the more effective this effect is. Based on many years of experience and in the interest of good processibility and pumpability of the fibre concrete it is advisable to use a maximum dosage of 2 kg/m^3 of polypropylene plastic fibres.

Proof of the enhanced fire resistance of plastic fibre concrete for tunnelling projects is obtained in fire tests in accordance with the guideline issued by the Austrian Federal for Concrete and Construction Technology (ÖVBB) in 2004. In keeping with the ÖVBB guideline 2 test pieces measuring $180 \times 140 \times 50 \text{ cm}$ are combusted over a 120-minute period in

erteilt, wenn die Abplatzungen weniger als 1 cm betragen und an keiner Stelle bis zur Bewehrung reichen.

Praxisbeispiel: Westtangente Bautzen

Ziel des Bauprojekts „Westtangente Bautzen“ ist es, den überregionalen Verkehr von der A 4 in Richtung Löbau und Oppach separat zu führen und damit das Stadtzentrum erheblich vom Durchgangsverkehr zu entlasten. Im Rahmen des Projekts wird die B 6 in offener Bauweise auf einer Länge von 400 m untertunnelt. Bei rund der Hälfte der Strecke liegt eine Trog- bzw. Rahmenkonstruktion mit einer im Mittel 60 cm dicken Decke vor. Sowohl die 11,10 m breite Decke, als auch die 80 cm dicken Wände, die im Maximum über 6,00 m Höhe aufweisen, werden aus Faserbeton mit 2 kg/m³ Polypropylenfasern vom Typ Krampe Harex PM 6/18 hergestellt. Der Beton hat die Verdichtungsmaßklasse C 35/45 und zeichnet sich durch einen hohen Lichtreflexionsgrad aus.

Der Umgang mit Beton, dem aus Gründen der Brandbeständigkeit Polypropylen-Fasern zugegeben werden, ist in Deutschland praktisch Neuland. Ganz anders ist die Situation in Österreich. Dort wird seit vielen Jahren Faserbeton für Straßen- und Eisenbahntunnel eingesetzt. Aus diesem Grund existiert auch die Richtlinie „Brandschutz für Beton für unterirdische Verkehrsbauelemente“. Diese Richtlinie stellte für den Betonlieferanten bei diesem Projekt deshalb auch die Vorlage zur Bestimmung der Fasermenge im Beton dar. Aufgrund des Pilotcharakters dieser Baumaßnahme werden die hier gewonnenen Erkenntnisse bei Erstellung der neuen ZTV-Ing Straßenbau Berücksichtigung finden.

Erneuerung des Alten Schlüchterner Tunnel (AST) mit neuer Ortbetoninnenschale und PP-Fasern

Der Schlüchterner Tunnel ist ein Eisenbahntunnel auf der Schnellfahrstrecke Frankfurt

accordance with the RWS curve. The amount of fibre defined by the project is added to the standard concrete. The samples are then stored under air-conditioning for 28 to 56 days and first then tested. Visual and acoustic tests were carried out during the firing stage. Spalling is assessed visually a quarter of an hour after the fire ends. The BBG fibre concrete class is first then awarded according to the cited guideline if spalling amounts to less than 1 cm and does not extent to the reinforcement at any point.

Practical Example: Westtangente Bautzen

The aim of the “Westtangente Bautzen” construction project is to conduct supraregional traffic separately on the A4 bound towards Löbau and Oppach so that the town centre is considerably relieved from through traffic. The B 6 is undertunnelled by 600 m within the scope of the project. There is a trough or frame structure with an on average 60 cm thick cover involved over

roughly half the project. Both the 11.10 m wide cover as well as the 80 cm thick walls, which are a maximum of just over 6 m high, is produced from fibre concrete with 2 kg/m³ of polypropylene fibres – Type Krampe Harex PM 6/18. The concrete possesses the C 35/45 degree of compactability and is distinguished by a high degree of light reflection.

Dealing with concrete, which has had polypropylene fibres added to it in order to resist fire, is virtually uncharted territory in Germany. The situation in Austria is entirely different. Fibre concrete has been used there for road and rail tunnels for many years. As a consequence there is also the guideline “Fire Protection for Concrete for Underground Transport Facilities”. This guideline thus represented the model for determining the amount of fibre in the concrete for the concrete suppliers. Owing to the pilot character of this construction scheme the findings obtained here are being taken into account to produce the new ZTV-Ing for road construction.



Beschichtung

Brandschutz



Instandsetzung

Reinigung



Tunnelarbeiten

am Main–Göttingen (Bild). Mit einer Länge von 3575 m ist die 1914 eröffnete Röhre der zweitlängste Tunnel im Altnetz (ohne Neubaustrecken) der Deutschen Bahn. Das Vorhaben „Ersatzmaßnahme Schlüchtern Tunnel“ umfasst den Neubau des Neuen Schlüchtern Tunnels (NST) mit Tübbingausbau sowie die bauzeitliche zweigleisige Nutzung des NST während der Erneuerung des Alten Schlüchtern Tunnel (AST) mit neuer Ortbetoninnenschale. Im Endzustand werden dann beide Tunnel eingeleisig betrieben.

Der NST wurde im April 2011 zweigleisig in Betrieb genommen, sodass die Arbeiten im AST im Herbst 2011 aufgenommen werden konnten. Die Gesamtfertigstellung ist für 2014 vorgesehen.

Die alte Röhre im AST wird mit einer 40 cm dicken Ortbetoninnenschale und einem Sohlgewölbe ausgekleidet. Zum Einsatz für die Herstellung eines brandbeständigen Betons kommt in diesem Projekt eine Polypropylen-Kunststofffaser von Krampe Harex Typ PM 6/32 mit einer Länge von 6 mm und einem Durchmesser von 32 µm. Während in mehreren europäischen Ländern der Einsatz von Kunststofffasern bei der Herstellung von Tunnelbauwerken üblich oder - wie in Österreich sogar - fest vorgeschrieben ist, stellt das Objekt in Schlüchtern diesbezüglich ein Pilotprojekt der Deutschen Bahn dar. Der Schlüchtern Tunnel wird der erste Ortbeton-Bahntunnel sein, bei dem Kunststofffasern zum Einsatz kommen. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Qualität der Polypropylen-Kunststofffasern. So gibt es über die in der bauaufsichtlichen Zulassung

festgelegten Anforderungen verschärfte Vorschriften z.B. bei der zulässigen Dickentoleranz: Während die Grenzabweichung des Mittelwertes gemäß der Zulassungs- und Überwachungsgrundsätze bei einer 32-µm-Faser +/-10 %, also 28,2 bis 35,2 µm, beträgt, sind für dieses Pilotprojekt beim Durchmesser nur Abweichungen von +/-2 µm, also 30 bis 34 µm zulässig. In diesem Zusammenhang ist auch für jede 500-kg-Charge ein Prüfzeugnis vorzulegen.

Leistungsfähigere Fasern für die Metro Kopenhagen

Eine der größten Infrastrukturmaßnahmen Dänemarks, die Metro Kopenhagen, befindet sich derzeit in der vierten Bauphase: Der sogenannte City-Ring, eine gut 15 km lange Strecke mit 17 Bahnhöfen, soll den Hauptbahnhof, Kongens Nytorv, das Østerport (Osttor), den Kopenhagener Norden, die Gemeinde Frederiksberg und den Tove Ditlevsen Plads verbinden. Bei diesem Großprojekt werden sowohl für den Ortbeton im Bereich der Bahnhöfe als auch für die Betonfertigteile-Tübbinge Kunststofffasern eingesetzt. Die Anforderungen an den Faserbeton im Brandfall sind bei Tübbing höher als bei Ortbetonbauteilen. Dies liegt an den höheren Betonfestigkeiten, die im Fall von Tübbing im Festigkeitsbereich eines C 90/105 liegen können. Das festere und dichtere Gefüge eines derartigen Betons führt bei Befeuern zu höherem Dampfdruck, womit die Gefahr großflächiger und tiefer Abplatzungen deutlich ansteigt. Eine leistungsfähige Polypropylen-Kunststofffaser in einer optimalen Dosierung ist

Renovating the Old Schlüchtern Tunnel (AST) with new in situ Inner Shell and PP Fibres

The Schlüchtern Tunnel is a rail tunnel on the Frankfurt am Main–Göttingen high-speed route (Fig.). The tunnel was opened in 1914. It is 3,574 m long making it the second longest in the old network (without new routes) of the Deutsche Bahn. The “Schlüchtern Tunnel replacement scheme” embraces constructing the New Schlüchtern Tunnel (NST) using a segmental lining as well as deploying the NST with 2 tracks while the AST is renovated adding a new in situ concrete shell. When completed the 2 tunnels will operate on a single-track basis.

The NST began running on a 2-track basis in April 2011 so that work in the AST could start in autumn 2011. The whole scheme is due to be completed in 2014.

The old bore in the AST is being lined with a 40 cm thick in situ concrete inner shell and a base invert. A polypropylene plastic fibre from Krampe Harex Type PM 6/32 – 6 mm long and 32 µm in diameter – is applied to produce a fire-resistant concrete for this project. Whereas the application of plastic fibres is customary for producing tunnels in a number of European countries or is rigidly prescribed – as in the case of Austria, the Schlüchtern scheme represents a pilot project for the Deutsche Bahn. The Schlüchtern Tunnel will be the first in situ concrete rail tunnel where plastic fibres are applied. Requirements on the quality of the polypropylene plastic fibres are correspondingly high. In addition to the demands posed by the construction authorities there are a number of regulations that go even further e.g. regarding the permissible

thickness tolerance: whereas the maximum deviation from the average value according to the approval and monitoring principles amounts to +/-10 %, in other words 28.2 to 35.2 µm for a 32 µm fibre, deviations of only +/-2 µm, in other words 30 to 34 µm, are permissible for the diameter for this pilot project. As a result a test certificate is required for each 500 kg batch.

Ultra-effective Fibres for the Copenhagen Metro

The Copenhagen Metro is one of Denmark's largest infrastructural projects. It is currently in its 4th construction phase: what is known as the City Ring, a roughly 15 km long section with 17 stations, is to link the Main Station, Kongens Nytorv, the Østerport (Eastgate), the north of Copenhagen, the community of Frederiksberg and the Tove Ditlevsen Plads. Plastic fibres are used both for the in situ concrete for the stations as well as for the concrete cast segments. Requirements on fibre concrete are higher in the event of fire on segments than on in situ concrete structural parts. This relates to the higher concrete strengths, which can attain a C 90/105 strength category in the case of segments. The firmer and denser texture of such a concrete leads to higher vapour pressure when on fire so that there is a considerably greater risk of large-scale and deeper spalling. As a result an effective polypropylene plastic fibre with an optimal dosage is needed. It generally applies that a polypropylene plastic fibre should possess as low a diameter as possible and be homogeneously distributed. Only in this way is it possible to make sure that the highest possible number of

deshalb gefragt. Generell gilt, dass eine Polypropylen-Kunststofffaser einen möglichst geringen Durchmesser aufweist und sich dabei gänzlich homogen verteilt. Nur so kann gewährleistet werden, dass im Brandfall eine höchstmögliche Zahl feinsten Kanäle entsteht, durch die der Dampfdruck entweichen kann. Es muss also stets abgewogen werden zwischen einem Fasertyp, der die Anforderungen an die Brandbeständigkeit mit möglichst geringer Dosierung einerseits sowie einer guten Dosierbarkeit und einer homogen Verteilung andererseits gewährleisten kann. Bei den ersten Vor- und Brandversuchen hat

sich der Einsatz von $1,5 \text{ kg/m}^3$ Krampe Harex Fasern Typ PM 3/18 bewährt.

Kunststofffasern als ideale Lösung für den Brandschutz

Die Praxisbeispiele zeigen, dass mit dem Einsatz von Polypropylen-Fasern höchste Brandbeständigkeit von Hochleistungsbeton erreicht werden kann. Dabei sind die Anwendungsmöglichkeiten vielfältig: Ob die Kunststofffaser nun bei Tübingen, Betonfertigteilen, Pump- oder Spritzbeton zum Einsatz kommt, ist dabei irrelevant. In jedem Anwendungsfall wird der Brandschutz signifikant gesteigert. 

fine channels is created, through which the vapour pressure can escape in the event of fire. In other words a balance must always be drawn between a type of fibre, which on the one hand complies with fire resistance requirements with as low a dosage as possible as well as good dosing capacity and homogenous distribution on the other. The application of 1.5 kg/m^3 of Krampe Harex Fibres Type PM 3/18 proved itself in the first advance and fire test phase.

of high-grade concrete can be attained with the application of polypropylene plastic fibres. The possibilities of application are wide-ranging: whether the plastic fibres are used for segments, concrete cast parts, pumped concrete or shotcrete is irrelevant. Fire protection is significantly enhanced in each case. 

Plastic Fibres as an ideal Solution for Fire Protection

These practical examples show that the highest fire resistance



www.normet.fi
www.taminternational.com

normet
For tough jobs · since 1962

tam

normet
SOLUTIONS FOR TOUGH JOBS

CHEMICALS

EQUIPMENT

SUPPORT

spraymex

www.coraly.com