
Brandschutzschichten in Verkehrstunnels

FIRE PROTECTIVE LAYERS IN TRAFFIC TUNNELS

WOLFGANG KUSTERLE, MICHAEL RUZICKA, PETER-FRANK DONAUER, HERBERT MUCHSEL

Für die Tragfähigkeit relevante Brände in Verkehrstunnels sind meist durch einen raschen Temperaturanstieg und maximale Temperaturen bis über 1200 °C gekennzeichnet. Diese Temperaturbeanspruchung führt zu einer Herabsetzung der Materialkennwerte, eventuell zu Querschnittsverlusten durch Abplatzungen und verursacht somit im Regelfall eine Reduktion der Tragfähigkeit der Konstruktion. Zudem können thermisch verursachte Zwänge auch zu qualitativen Veränderungen im Schnittkraftverlauf führen. Für Neubauten stehen mehrere Maßnahmen zur Beherrschung des Lastfalles "Bemessungsbrand" zur Verfügung. Neben der reinen Heißbemessungen und der Optimierung der Betonrezeptur können auch Schutzschichten: Platten, hochdämmende Spritzmörtel sowie Polypropylen- Faserspritzbetone eingesetzt werden. Für die Ertüchtigung von bestehenden Tunnels sind nachträglich aufgebraute Schutzschichten meist die einzige mögliche Maßnahme.

Schutzschichten müssen die Konstruktion innerhalb festgeschriebener Zeitspannen vor unzulässigen Temperatureintrag schützen, daneben aber auch über lange Zeiträume der rauen Tunnelumgebung und der Druck/Sog-Wechselbeanspruchung durch den Verkehr widerstehen sowie den Ansprüchen der Bauwerksinspektion (Erhalter, Betreiber) genügen. Anforderungen, Versuchsergebnisse sowie Festlegungen in einem Merkblatt der ÖVBB werden vorgestellt und diskutiert.

Fires with implications for the load-bearing properties of traffic tunnels are generally characterised by a rapid rise in temperature, with maximum temperatures of up to 1200 °C or more. Thermal stress results in a lowering of the specific properties of the materials, and in certain circumstances can lead to losses in cross section as a result of spalling, so that in most cases the load-bearing capacity of the structure will be reduced. In addition, thermally caused stresses can lead to qualitative changes in the stress distribution. For new constructions there are a number of measures that may be taken for coping with the load scenario resulting from a "design fire". Alongside pure thermal static calculations and the optimization of the concrete mix design, protective layers involving boards, light-weight sprayed mortars or propylene fibre reinforced sprayed concrete may also be applied. When it comes to rehabilitation of existing tunnels, the subsequent application of a protective layer is generally the only course available.

Protective layers must safeguard the structure within defined time limits against excessive temperatures; they must also withstand the rough tunnel environment and the alternating stresses of suction and pressure caused by passing traffic over long periods, as well as answering to the specifications of the building inspectors (maintenance authorities and operators). Requirements and test results as well as the recommended practice of the Austrian Concrete Association as a consequence of this work will be discussed.

1. Brände in Tunnels

Die durch Verkehrstunnels in LKWs oder Waggonen beförderten Güter können im Brandfall bis zu 300 MW an Energie freisetzen. Dabei steigen die Temperaturen bei Vollbrand innerhalb weniger Minuten auf 1000 °C bis 1200 °C an und erreichen je nach Belüftungssituation und Sauerstoffangebot bis zu 1350 °C. In Abhängigkeit der Zugänglichkeit des Brandherdes und der Verrauchung [1] ist der Löscheinsatz erschwert, was indirekt auch zu langen Branddauern führen kann. Nach [2, 3, 4] sind daher im Regelfall die in Bild 1 angegebenen Temperatur-Zeitkurven anzusetzen (für Schutzschichten und Faserbetonklasse BBG die RWS-Kurve).

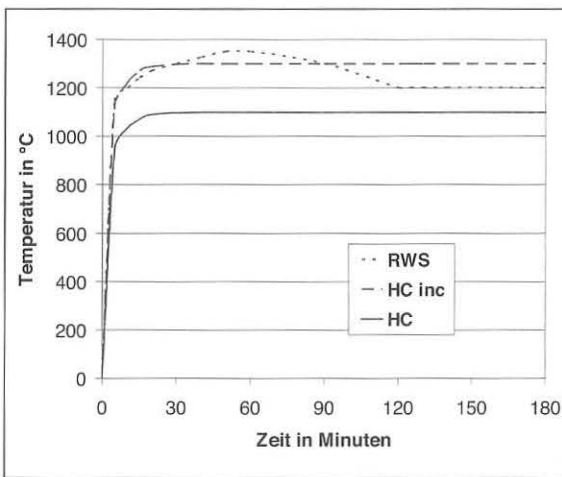


Bild 1: Nach [2 und 15] anzusetzende Temperatur-Zeitkurven (HC und HC increased für Brandereignisse mit Flüssigkeits- und Feststoffbränden ohne detaillierte Untersuchung, aber unterschiedlichen Branddauern, RWS für den Nachweis der Faserbetonklasse BBG und für Schutzschichten)

2. Auswirkungen der Brände auf die Konstruktion

Die hohen Brandtemperaturen dringen in den Stahlbeton ein (Bild 2), verringern Festigkeit von Beton und Stahl (Bild 3) sowie deren Verbund und erzeugen Zwängungsspannungen im Bauwerk. In vielen Situationen werden oberflächliche Betonschichten abplatzen und die Bewehrung freilegen. An den unmittelbar beflamten Konstruktionselementen von Tunnels muss mit Abplatzraten bis zu 30 cm/h gerechnet werden [5] (Bild 4). Ohne Maßnahmen können solche Einwirkungen zu Tragfähigkeitsverlusten der Konstruktion führen, die einerseits während festgelegter Räumungszeiten unzulässig sind und andererseits ein frühzeitiges Gesamtkonstruktionsversagen nach sich ziehen.

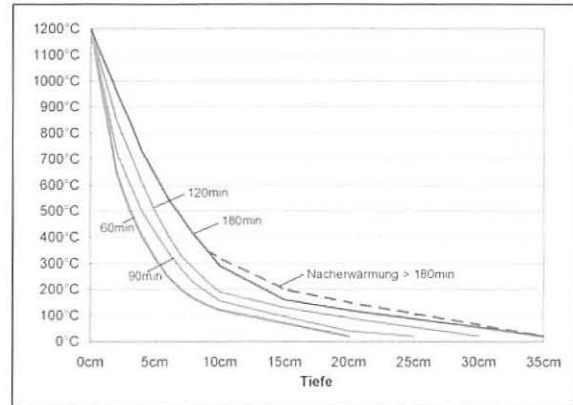


Bild 2: Temperatureireindringkurven für Faserbetone nach [2]. Diese Kurven decken die Einwirkung durch die Temperatur-Zeitkurven nach Bild 1 ab.

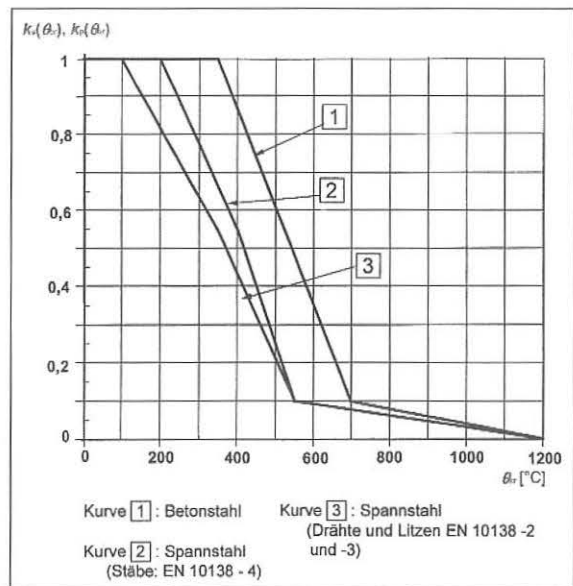


Bild 3: Bemessungskurven für die kritische Temperatur von Betonstahl und Spannstahl als Funktion des Beiwerts $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20\text{ °C})$ oder $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{pk}(20\text{ °C})$ nach [8]

3. Mögliche Maßnahmen des konstruktiven Brandschutzes

Normalbeton widersteht Feuer recht gut und ist auch ein "relativ" schlechter Wärmeleiter. Eine Verringerung der Wärmeleitfähigkeit über Rezepturänderung ist im Tunnelbau nur eingeschränkt sinnvoll (siehe auch [6]). Deshalb ist auch die erste Bewehrungslage (incl. horizontaler Bügelschenkel) in der Regel durch die Brandeinwirkung gefährdet. Das explosive Abplatzen muss jedenfalls durch Maßnahmen [5] verhindert werden. Derzeit gelingt dies am effektivsten durch den Zusatz von PP-Fasern [5, 6].

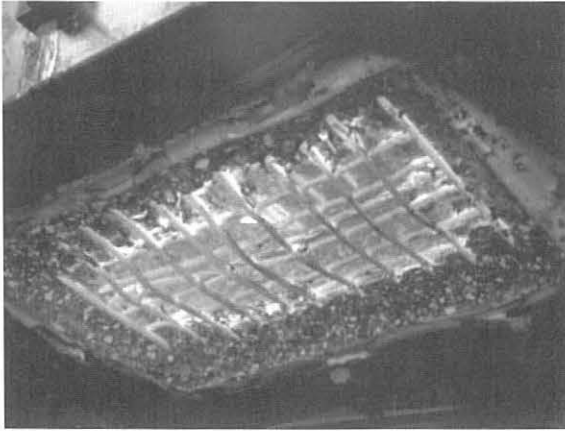


Bild 4: Abplatzungen an Normalbetonversuchskörper nach RWS-Brand ohne Maßnahmen

Massive Bewehrung (z. B. Kaliber = 26 mm, Achsabstand = 7,5 cm mit engen Rückverankerungen) kann ebenfalls das Abplatzen hinter diese Bewehrungslage stoppen. (Auch durch sichergestellte Begrenzung der Betonfeuchte könnte das Abplatzen beherrscht werden, was jedoch nur im Hochbau denkbar ist.) Wird das Abplatzen verhindert, kann unter Berücksichtigung der geänderten Materialkennwerte eine Heißbemessung [7] für das zugehörige Lastniveau durchgeführt werden, die im Regelfall auch zu höheren Bewehrungsgehalten führen wird. Neben der Bemessung ist auch auf eine entsprechende konstruktive Durchbildung zu achten (z.B. Bügellagen).

Eine alternative Möglichkeit stellt die Verringerung des Temperaturgradienten und der Temperatureindringung in den Konstruktionsbeton durch Schutzschichten dar.

Nach EN 1992-1-2 [8] gehört zu den Schutzschichten jeder Baustoff oder jede Baustoffkombination, die auf ein Tragwerk aufgebracht wird, um dessen Feuerwiderstandsdauer zu erhöhen. Derzeit werden folgende Schutzschichten angeboten:

- Plattenförmige Schutzschichten im direkten Kontakt mit der Betonoberfläche, als verlorene Schalung oder auf Unterkonstruktionen
- Spritzbare Leichtmörtel unterschiedlicher Rohdichte
- Faserspritzbeton [nach 9] mit Polypropylenfasern
- (Beschichtete Stahllochbleche und emaillierte Metalle)
- (intumeszierende (aufschäumende) Anstriche)

4. Anforderungen an Schutzschichten

Die Anforderungen an Schutzschichten im Tunnelbau unterscheiden sich gravierend von den Anfor-

derungen, die Schutzschichten im Industrie- und Wohnbau erfüllen müssen. Deshalb können meist nicht die gleichen Materialien zum Einsatz kommen. Die Anforderungen gliedern sich in solche an

- die Brandbeständigkeit und Dämmwirkung,
- den Verbund zum Untergrund,
- die Dauerhaftigkeit (besonders bei Wasser- und Frostzutritt),
- die Zugänglichkeit der tragenden Konstruktion und das Erkennen von Rissbildungen in dieser,
- das optische Bild und das Verhalten bei Reinigungsarbeiten (hauptsächlich in Straßentunnels),
- die Kosten der Maßnahme und ihre Erhaltung.

Dabei sind Brandtemperaturen bis 1350 °C zu ertragen und Grenztemperaturen an Betonoberfläche und Bewehrung einzuhalten, die einerseits die kritische Temperatur von Stahl (Bild 3) nicht überschreiten und andererseits bei statisch unbestimmten Systemen nur zu tolerierbaren Zwängungsspannungen in der Konstruktion führen sollen. Ist das nicht möglich, dann sind nötigenfalls, trotz Vorsehen einer Schutzschicht, zusätzlich alle Schritte einer vollständigen Heißbemessung durchzuführen, die jedoch von einem geringeren thermischen Einwirkungslevel ausgehen kann.

Der Verbund der Schutzschichten zum Untergrund wird durch das Eigengewicht und vor allem Druck/Sog-Beanspruchungen aus Verkehr beansprucht, die in Abhängigkeit von Lichtraum und Geschwindigkeit zu beachtlichen Dauer-Wechsel-Beanspruchungen führen können [10, 11, 12].

Wasser (teilweise mit Tausalzen) wird in Tunnels durch den Verkehr mit eingeschleppt, schlägt sich im Jahreszyklus durch Taupunktunterschreitungen als Tauwasser nieder und dringt bei WDI-Innenschalen oder Weißen Wannen durch den Konstruktionsbeton, wobei es jedoch nicht zu Tropfwasser kommen sollte [13]. Gleichzeitig kann der Frost in Portalbereiche und, je nach Lage der Tunnels, mehrere Hundert Meter weit in den Tunnel hineinvordringen. Dieser Wasser-, Frost- oder Frostauslastbelastung müssen Schutzschichten zielsicher über die Lebensdauer des Bauwerks widerstehen können. Ein Austausch der Schutzschichten ist zwar theoretisch mit unterschiedlichem Aufwand möglich, bei unserer hoch ausgelasteten Infrastruktur aber möglichst zu vermeiden. Dauerhaftigkeitsaspekte sind daher gleich wichtig wie die Brandbeständigkeit.

Für die periodische Beurteilung der Bauwerke auf eventuelle Problemstellen und Veränderungen der Konstruktion ist es vorteilhaft direkten Zublick auf

diese Oberflächen zu haben. Besonders bei Infrastrukturbauwerken, deren Betriebskonzepte praktisch kaum Sperren oder Teilsperren zulassen (z.B. Vollbahntunnel), da damit erhebliche Verluste, sowohl betriebs- als auch volkswirtschaftlicher Art, einhergehen, müssen die Inspektionen auch unter erschwerten Bedingungen und mit knappster Zeitvorgabe machbar sein. Eine schnelle und treffsichere Beurteilbarkeit des zu schützenden, tragenden Bauteiles ist unabdingbar und dem Erhalter sind entsprechende Möglichkeiten zu geben. Durch Schutzschichten verschlechtert sich die Zugänglichkeit aber teilweise beträchtlich.

Durch genaue Inspektion der Konstruktion vor Beplankung oder Beschichtung und durch "Fenster" an kritischen Stellen kann die Auswirkung etwas entschärft werden. Mineralische Spritzmörtel zeichnen meist Rissöffnungen oder Rissaufweitungen in der Konstruktion an der Schutzschichtoberfläche ab. Bei anderen Materialien ist dies durch geeignete Prüfungen nachzuweisen.

Für den Lainzer Tunnel wurde ein detailliertes Anforderungsprofil erstellt. Ähnliche Anforderungsprofile sind auch in [1,14] erschienen.

5. Bisherige Erfahrungen in Vorversuchen

Im Zuge der offenen Präqualifikation für Schutzschichten für Teile des Lainzer Tunnels der ÖBB durchliefen eine Anzahl von Produkten Prüfungen zur Brandbeständigkeit und Dauerhaftigkeit. Auf die Mörtel und Spritzbetone soll hier etwas näher eingegangen werden. Vorerst einige Eckpunkte der Ausgangsstoffe:

Als Bindemittel können Portlandzemente und Tonerdeschmelzzemente zum Einsatz kommen.

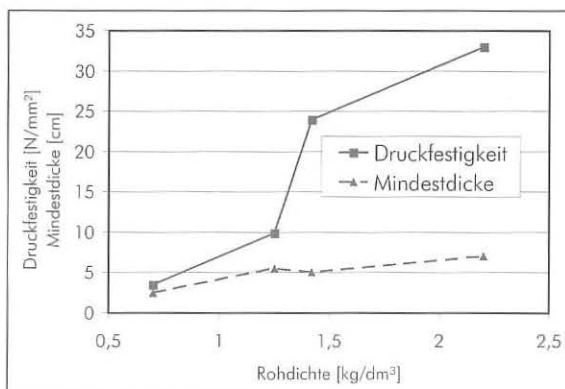


Bild 5: Mindestdicke und Druckfestigkeit von spritzbaren Schutzschichten in Abhängigkeit von der Rohdichte (Ergebnisse aus Vorversuchen)

Die Zuschlagstoffe sind sowohl normale als auch leichte Gesteinskörnungen in Verwendung: unter anderem Olivin, Muschelsand, Aluminium-Silikat-Hohlkugeln, Vermikulit und Perlit. Keramische Fasern und Polypropylenfasern werden zugesetzt.

Solche Mischungszusammensetzungen ergeben Mörtel mit Rohdichten zwischen 420 kg/m^3 und 2400 kg/m^3 , was sich unmittelbar in den erforderlichen Schichtdicken von 30 mm bis 80 mm auswirkt (Anforderung: Temperatur an Kontaktschicht Schutzschicht - Beton $\leq 350 \text{ }^\circ\text{C}$, am Stahl $\leq 250 \text{ }^\circ\text{C}$). Beim w/z-Wert ist zu beachten, dass ein beträchtlicher Teil des Zugabewassers von den leichten Gesteinskörnungen aufgenommen wird. Auf Grund der unterschiedlichen Rohdichten schwanken auch die Druckfestigkeiten zwischen 3 N/mm^2 und jenem von Normalbeton (Bild 5).

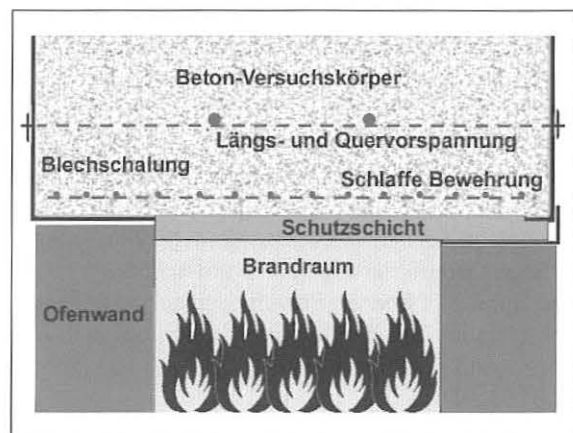


Bild 6: Versuchskörper mit Schutzschicht im Querschnitt (links Anordnung bei Vorversuchen, rechts nach [15])

Im Anforderungsprofil waren als max. Brandraumtemperatur $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ und $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ anwählbar. Die Brandversuche wurden an Großplatten durchgeführt (Bild 6). Die Temperaturen in den jeweiligen Tiefen wurden durch Fühler erfasst. Es zeigte sich dass manche Mischungen, die bei $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ einwandfrei bestanden, bei längerem Halten der Temperatur auf $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ anschnolzen (Bild 7). Nachdem ein Teil der Schutzschichten auch im durchnässten Zustand dem Brandversuch zugeführt wurden kam es vorerst auch zu Abplatz-Erscheinungen, die aber durch Materialmodifikationen verhindert werden konnten (Bild 8). Für Faserspritzbeton mit 2 kg/m^3 PP-Fasern liegt eine Grundsatzprüfung mit 6 cm Schichtdicke vor.

Bei Überkopf-Applikationen wurde zusätzlich zum Haftverbund ein leichtes Gitter oder ein entsprechendes Bewehrungsnetz vorgeschrieben, dass so rückzuverankern war, dass eventuell bei großflächigen

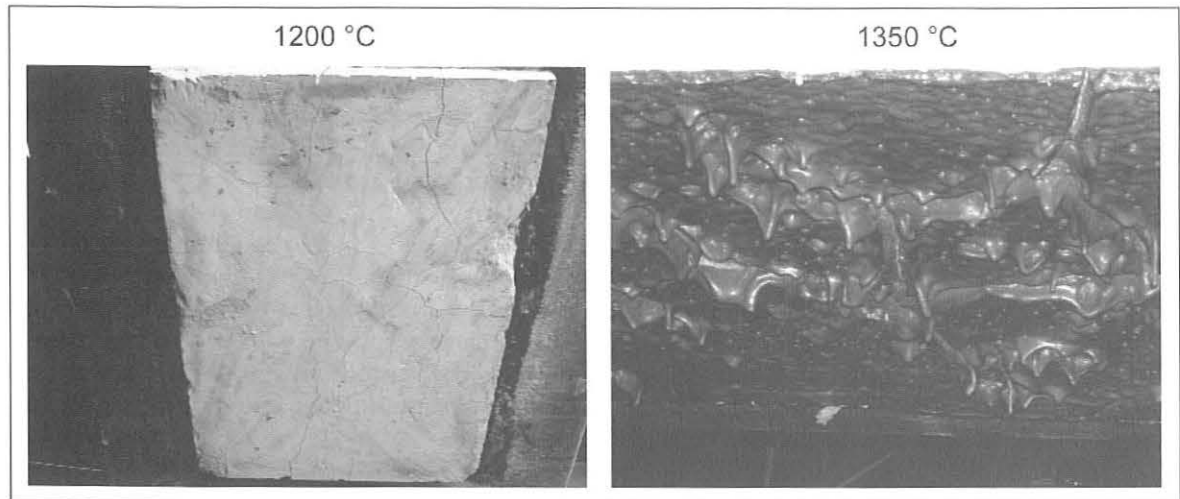


Bild 7: Eine der geprüften Schutzschichten nach Versuch bei 1200 °C und 1350 °C



Bild 8: Vornässung eines Probekörpers zur Simulation durchnässter Tunnelbereiche

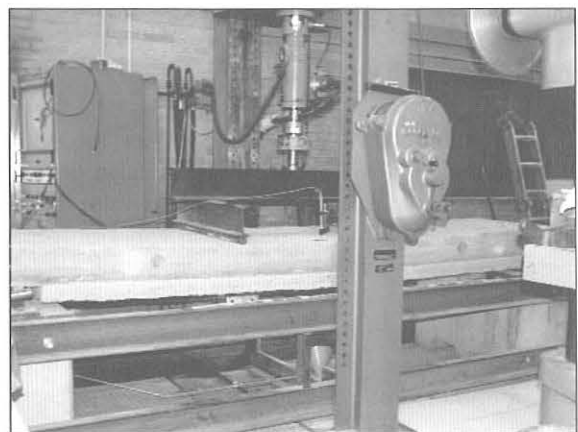


Bild 9: Biegeversuch zur Untersuchung der Rissabildung durch die Schutzschicht (Bild: Saxer)

gem Auftrag auftretende Bereiche mit fehlendem Verbund auch unter Druck-Sogbeanspruchung zurückgehalten werden können, bis sie bei der nächsten Inspektion entdeckt werden. Bei sehr leichten, porösen Schutzschichten ist die Ausführung in Edelstahl oder verzinkt notwendig, während für normale Spritzbetone mit ausreichender Alkalität eine normale Mattenbewehrung eingesetzt werden kann. Diese Bewehrung samt Verankerung stellt einen wesentlichen Sicherheits- und auch Kostenfaktor dar und ist daher sorgfältig zu planen.

Für die spätere Inspektion des Tragwerks ist es entscheidend rechtzeitig das Entstehen oder Aufweiten von Rissen aus noch abzuklärenden Ursachen zu erkennen. Die Schutzschichten sollten aus diesem Grund nicht als rissüberbrückende Beschichtung wirken. Da keine Einrichtungen für Zugversuche im großen Maßstab zur Verfügung standen, erfolgten die Untersuchungen an Biegeplatten (Bild 9). Die Versuchsdurchführung wurde ins Merkblatt der

ÖVBB [15](siehe Pkt. 7) übernommen. Sie zeigten, dass die mineralischen Produkte bei Rissweitenänderungen im Untergrund diese Risse an ihrer Oberfläche rasch abzeichnen. Eine Überprüfung dieser Eigenschaft ist erst bei Schutzschichten sehr geringer Rohdichte, die in der Regel "weicher" sind oder bei hohem, eventuell rissüberbrückendem Fasergehalt, notwendig.

"Intelligente" Schutzschichten sollten durch eine geringe Wärmeleitfähigkeit mit einer kleinen Schichtdicke ihre Schutzfunktion übernehmen können. In der Regel ist dies durch den Einsatz von leichten Gesteinskörnungen und Porenbildnern möglich oder durch die Abgabe von chemisch gebundenen Wassers. Die für die gute Dämmung notwendige hohe Porosität (bis 60 %) steigert in der Regel die Wasseraufnahme (Wasseraufnahmekoeffizienten 0,1 bis 0,90 kg/m²√h). Damit steigt auch die Gefahr von Frostschäden bei Wassersättigung. Der mögliche Sättigungsgrad im Tunnel und die kriti-

sche Sättigungsfeuchte für Frost wurden allerdings nicht geprüft und sind daher unbekannt. Die Prüfung wurde über die Oberflächenabwitterung und Haftzugprüfungen nach ÖNORM B 3303 [16] ohne Chloridzusatz bestimmt. Dabei steht Wasser während der Prüfung an der Oberfläche, was sicher den ungünstigsten, aber gut reproduzierbaren Fall, darstellt. Oberflächenabwitterung bis 350 g/m^2 (Grenzwert $<40 \text{ g/m}^2$) wurden an den Mustern unter diese Bedingungen festgestellt. Auch zusätzlich durchgeführte Massenhydrophobierungen führten nicht immer zum Ziel und sind eigentlich nur als "Notlösung" zu betrachten. Deshalb wurde die Prüfdurchführung im Merkblatt unter Beibehaltung üblicher Verfahren modifiziert. Zur Beurteilung der Frostbeständigkeit hochdämmender Schutzschichten sind aber noch weitere Abklärungen notwendig. Die Frost-Tausalzbeständigkeit wurde noch nicht untersucht.

6. Verfügbarkeit und Kosten

Spritzbare Brandschutzschichten werden heute sowohl von den klassischen Herstellern von Brandschutzprodukten, als auch von Trockenmörtelherstellern und als PP-Faserspritzbeton von Transportbetonwerken angeboten.

Der Auftrag erfolgt von im Brandschutz tätigen Spezialunternehmen aber auch vom klassischen Bauunternehmer, der Betoninstandsetzungen durchführt.

Die Kosten setzen sich aus den Anteilen für:

- Untergrundvorbehandlung,
- Mattenbewehrung und Verankerung,
- Material und Auftrag,
- sowie Baustelleneinrichtung zusammen.

Da der Einsatz im Tunnel noch neu ist, sind zurzeit nur grobe Kostenrahmen anzugeben. Die Kosten liegen derzeit, abhängig von der Baustellensituation, bei der Untergrundvorbehandlung von intaktem Beton zwischen 4 €/m^2 und 7 €/m^2 , dem rissabbildenden Brandschutzmörteln oder Faserspritzbeton in Schichtdicke gemäß Prüfung nach [15] inklusive Auftrag, Bewehrung und Verdübelung vertikal zwischen 50 €/m^2 und 80 €/m^2 , Überkopf zwischen 55 €/m^2 und 85 €/m^2 .

7. Festlegungen im Merkblatt der ÖVBB

Der Gründruck des Merkblattes "Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke" der ÖVBB [15] ist für alle Mörtel und Platten, "die zur Erhöhung des Brandschutzes unterirdischer Verkehrsbauwerke aus Beton an de-

ren Oberfläche aufgebracht werden, anzuwenden". Zur Identifikation des Materials ist eine Beschreibung der Ausgangsstoffe und des Aufbaus notwendig. Kornzusammensetzung, Frischmörtel-Rohdichte, Biegezugfestigkeit und Gesamtwassergehalt dienen als Erkennungsmerkmal.

Die Prüfung der Brandbeständigkeit erfolgt an zwei Großversuchskörpern mit den Abmessungen $180 \text{ cm} \times 140 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ (L x B x H) aus Normalbeton. Als Temperatur-Zeitkurve im Brandraum wird die RWS-Kurve (Rijkswaterstaat) über eine Zeitdauer von 180 Minuten angesetzt. Dabei muss sichergestellt werden, dass:

- die Betonoberflächentemperatur max. 350 °C ,
- die Bewehrungsstahltemperatur in 4 cm Tiefe max. 250 °C erreichen und
- keine Abplatzungen auftreten.

Da es derzeit keine Grundsatzuntersuchungen zur Frostbeständigkeit gibt, wurde versucht möglichst einfach mit bestehenden Prüfverfahren und geringem Prüfaufwand die Frost- oder Frost/Tausalzbeständigkeit zu beurteilen. Die Prüfung mit und ohne Taumittel erfolgt in Anlehnung an die Richtlinie "Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton" der ÖVBB [17], Anhang 8, Frost-Taumittel-Beanspruchung, also immer mit Salz, an Verbundkörpern Unterbeton/ Schutzschichte.

Anforderungsklasse	Abwitterung in cm^3/m^2	Haftzugfestigkeit im Vergleich zum 28 Tage-Ergebnis
XF 4	≤ 50	$\geq 70 \%$
XF 2	≤ 250	$\geq 65 \%$
XF 1 = XF 3	≤ 500	$\geq 60 \%$

Es gilt
 XF 1 = XF 3 für Straßentunnel mit Anstrich und alle Eisenbahntunnel, jeweils im Frostbereich
 XF 2 für Straßentunnel mit Anstrich im Portalbereich
 XF 4 für Straßentunnel ohne Anstrich

Tab 1: Anforderungen im Merkblatt Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz unterirdischer Verkehrsbauwerke der ÖVBB (Gründruck) für Schutzschichten bei unterschiedlichen XF-Klassen [15].

Die Anforderungen nach 56 Frost-Tau-Wechsel sind in der Tabelle 1 dargestellt. Die Abwitterungen werden als Masse bezogen auf die Prüffläche ermittelt und mit der Trockenrohichte des Materials umgerechnet, um Materialien unterschiedlicher Rohdichte zu erfassen. Mit dieser Prüfdurchführung können mit einem Versuch die unterschiedlichen

Expositionsklassen geprüft werden. Ob sich dieses Verfahren bewährt, wird sich erst bei Anwendung zeigen. Alternativ könnte man sich eine Bestimmung des kritischen Wassersättigungsgrades in Anlehnung an [18, 19] vorstellen. Die Umgebungsbedingungen wären aber hierzu ebenfalls zu definieren.

Der Auftrag im Tunnel erfordert eine Untergrundvorbehandlung mit einer mittleren Rautiefe $> 1,0$ mm und nach Rohdichten der Schutzschichten abgestuften Abreißfestigkeiten. Die Haftzugfestigkeiten des applizierten Mörtels müssen bei

Trockenrohddichte $\rho > 2000$ kg/m³: $f_{HZ} = 1,5$ N/mm², bei 2000 kg/m³ $> \rho > 1000$ kg/m³: f_{HZ} linear von $1,5$ N/mm² auf $0,4$ N/mm² abnehmend, bei 1000 kg/m³ $> \rho > 400$ kg/m³: f_{HZ} linear von $0,4$ N/mm² auf $0,2$ N/mm² abnehmend und bei $\rho < 400$ kg/m³: $f_{HZ} = 0,2$ N/mm² erreichen.

"Bei Verwendung von (Spritz-)Beton oder Mörtelbekleidungen ist zusätzlich zu den nachgewiesenen Haftzugfestigkeiten, bei allen Applikationen über Kopf, eine systemkompatible Netzbewehrung mit einer entsprechenden Befestigung vorzusehen, damit jedenfalls sichergestellt ist, dass alle Regelastfälle (aus der normalen Nutzung des Bauwerks entstehenden Beanspruchungen) nicht zu einem lokalen Herabfallen führen können."

Für diese Befestigungsmittel gilt (gekürzt wiedergegeben):

- Die Befestigung muss, zusammen mit der Netzbewehrung, im Betriebsfall das Eigengewicht der Mörtelschicht und gleichzeitig eine allenfalls maximal auftretende Sogbelastung durch Verkehr, ohne Ansatz einer Haftzugfestigkeit, im Bauteil verankern können (Bild 10). Dies ist mittels einer gültigen Zulassung für das Befestigungselement, unter Berücksichtigung des Befestigungsgrundes, zu belegen. Auf der Lastseite ist dabei eine Sicherheit

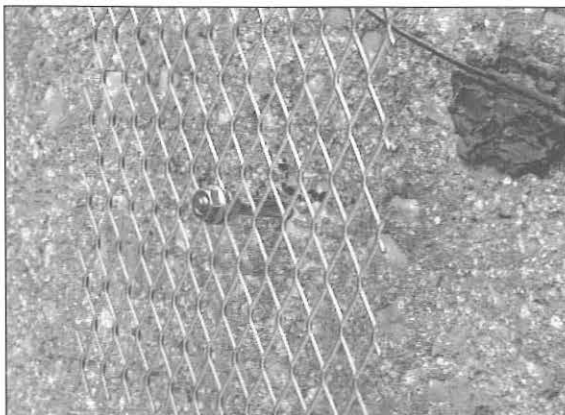


Bild 10: Beispiel für ein im Überkopfbereich erforderliches zusätzliches Gitter samt Verdübelung

$\gamma_s = 1,5$, auf der Widerstandseite jener in der Zulassung für eine Einzelbefestigung angegebene Teilsicherheitsbeiwert, anzusetzen.

- Die Korrosionsbeständigkeit ist nachzuweisen.
- Die Netzbewehrung ist an den Dübeln kraftschlüssig so zu befestigen, damit die Solllage eingehalten wird und durch die Befestigung darf der Befestigungsgrund nicht beschädigt werden [15].

Der Nachweis der Rissabzeichnung erfolgt an zwei Großplatten (3,60 m x 0,80 m x 0,16 m) aus C 25/30 im Biegeversuch. Vor Auftrag der Schutzschicht sind beide Versuchsplatten im Biegeversuch mit Dreipunktbelastung bis auf Rissweiten von 0,5 mm vorzubelasten, die Risse zu kennzeichnen und anschließend die Platten wieder zu entlasten. Nach 28 Tagen sind an den Plattenunterseiten die Schutzschicht (Spritzmörtel oder Spritzbeton) samt der systembedingt benötigten Bewehrung und deren Befestigung (Nägel, Dübel) in der erforderlichen Dicke auf 280 cm Länge aufzubringen. Die Schutzschicht ist nachzubehandeln und 28 Tage auszulagern. Der jeweilige Versuchskörper wird in eine Biegezugprüfanlage mit 3,0 m Spannweite eingebaut. Die Lastaufbringung erfolgt verformungsgesteuert. Auf beiden Seiten ist die Rissentwicklung aller Risse in der Untergrundplatte und in der Schutzschicht laufend zu beobachten, einseitig sind die genauen Messungen durchzuführen.

Nachzuweisen ist, dass eine Rissöffnung oder Rissaufweitung $\Delta w > 0,5$ mm in der Konstruktion zu sichtbarer Rissabzeichnung an der Schutzschichtoberfläche führt. Bei mineralischen Mörteln und Spritzbetonen mit Rohddichte $\rho > 1000$ kg/m³ und mit einer Haftzugfestigkeit $f_{HZ} > 0,4$ N/mm² gilt der Nachweis auf Grund vieler Vorversuche als erbracht. Für mineralische Mörtel mit Rohddichte $300 < \rho < 1000$ kg/m³ werden besondere Vereinbarungen vorgeschlagen.

Eingehend wird die Qualitätssicherung bei der Ausführung samt allen erforderlichen Prüfungen im Merkblatt behandelt.

8. Zusammenfassung

Derzeit können spritzbare, mineralische Schutzschichten im Vergleich zu anderen Maßnahmen (z.B. Faserbeton als Konstruktionsbeton) folgendermaßen beurteilt werden:

Vorteile:

- Thermische Isolierung der Konstruktion
- sehr guter Brandschutz (Bild 11) der optimal angepasst werden kann (Schichtstärke variieren)

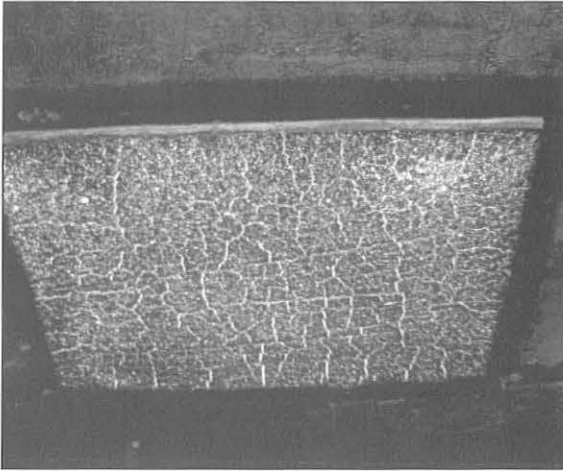


Bild 11: Intakte Schutzschicht unmittelbar nach Brandversuch

- längere Feuerwiderstandsdauer möglich als mit anderen Methoden
- nachträgliche Applikation an nahezu beliebige Oberflächenformen (unregelmäßige Krümmungen)
- hohe Dauerhaftigkeit im Falle von PP-Faserspritzbeton
- gute und schnelle Sanierbarkeit nach Brand
- keine Sondermaßnahmen an Bewehrung und Betonrezeptur [20, 21]
- ev. bei bestehenden Tunnels auch als Deckungserhöhung im Rahmen einer Beton-Instandsetzung einsetzbar, Zusatznutzen Dauerhaftigkeit
- leichte Kontrolle der Funktion durch einfaches Abklopfen und Rissabbildung

Nachteile:

- trotz Nachweis fraglich ob von Leichtmörteln gleiche Dauerhaftigkeit erreicht wird wie von Innenschalenbeton
- keine unmittelbare Zugänglichkeit zur Konstruktion
- Lichtraumverringering
- Durchführungen von Untergrundvorbereitung und Befestigungen aufwendig
- aufwendige Baustelleneinrichtung mit hohem Reinigungsaufwand

Plattenförmige Schutzschichten erfordern in der Regel keine Untergrundvorbereitung außer örtlichem Entgraten und die Montage erfolgt ohne Spritzstaub im Trockenausbau. Es ist eine glatte Oberfläche erzielbar, wengleich die Einhaltung enger Stoßfugen und die Inspektionsfenster den Montageaufwand beträchtlich erhöhen. Der Nachweis für die Dauerwechselbeanspruchung durch Druck/Sog Verformung aus Verkehr ist für die Platte und die Befestigung zu führen und bedingt engere Verdübelungen

als jene Raster, die normalerweise im Hochbau zur Anwendung gelangen.

Über den ersten Einsatz von PP-Faserbeton als Schutzschichte im Lainzer Tunnel wird an anderer Stelle berichtet [22].

9. Literatur:

- [1] Biennemann, F.; Girnau, G. (Hrsg.): Brandschutz in Fahrzeugen und Tunneln des ÖPNV. Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Stuva, Alba Fachverlag, Düsseldorf, 2005.
- [2] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: Richtlinie Erhöhter Brandschutz mit Beton für unterirdische Verkehrsbauwerke. Wien, 2005.
- [3] ÖBB Infrastruktur Bau AG: HL-Richtlinie, Richtlinie für das Entwerfen von Bahnanlagen - Hochleistungsstrecken, Anlage 4: Baulicher Brandschutz in unterirdischen Verkehrsbauten von Eisenbahn-Hochleistungsstrecken. In Vorbereitung.
- [4] RVS 9.36: Baulicher Brandschutz in Straßenverkehrsbauten. In Vorbereitung.
- [5] Kusterle, W. et al: Brandbeständigkeit von Faser-, Stahl- und Spannbeton. Republik Österreich, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), Straßenforschung Heft 544, Österreichische Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, Wien, 2004.
- [6] Mörth, W.; Haberland, Ch.; Horvath, J.: Spezielle Gesteinskörnungen für Spritzbeton mit höchster Brandsicherheit. In: Spritzbetontechnologie 2006, Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik der Universität Innsbruck, 2006.
- [7] Wageneder, J.: Tragverhalten von Stahlbetontragwerken unter Hochtemperatureinfluss. Dissertation TU-Graz, 2006.
- [8] EN 1992-1-2: 2004(D): Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall. CEN, 12 / 2004.

- [9] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik:
Richtlinie Spritzbeton. Wien, 2004.
- [10] DB NETZ:
Deutsche Bahn Richtlinie 853 - Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten - Modul 853.2001 Standsicherheitsuntersuchungen gültig am 01. 06. 2002.
- [11] ÖNORM EN 14067-3 Bahnanwendungen - Aerodynamik Teil 3:
Aerodynamik im Tunnel - Entwurf Ausgabe 2003-07-01.
- [12] ÖNORM EN 14067-5:
Bahnanwendungen - Aerodynamik Teil 5: Anforderungen und Prüfverfahren für Aerodynamik im Tunnel - Entwurf Ausgabe 2004-04-01.
- [13] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik:
Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke- Weiße Wannen. Wien, 2002.
- [14] Haack, A.:
Nachträgliche Brandschutzmaßnahmen in Tunneln - Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte. In: Forschung + Praxis, Ö-Verkehr und Unterirdisches Bauen, Band 35, Stuva, Köln, Alba Verlag, Düsseldorf, 1994.
- [15] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik:
Merkblatt Schutzschichten für den erhöhten Brandschutz unterirdischer Verkehrsbauwerke. Gründruck Wien, 2005.
- [16] ÖNORM B 3303:
Betonprüfung. 2002-09-01.
- [17] Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik:
Richtlinie Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton. Wien, 12/2003.
- [18] Fagerlund, G.:
The critical degree of saturation method of assessing the freeze/thaw resistance of concrete. Matériaux et Constructions, RILEM, 10 (1977) No. 58, pp 217 ff.
- [19] Brameshuber, W.; Pierkes, R.; Tauscher, F.; Friebel, W.-D.:
Anrechnung von Flugasche bei Betonen für Innenschalen von Straßentunneln. beton 7+8/2005.
- [20] Kusterle, W.; Lindlbauer, W.; Hanser, S.:
Polypropylen-Faserbeton als Brandschutzmaßnahme im Tunnelbau. beton 55, 10/2005.
- [21] Pichler, W.; Wagner O.K.:
Einflüsse auf die Betoneigenschaften durch den Einsatz von PP-Fasern zur Erhöhung der Brandbeständigkeit von WDI-Innenschalen. Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), Heft 11.
- [22] Vogl, G.; Tatzl, B.; Mayr, R.:
Spritzbeton bei Tunnelinstandsetzung und als Brandschutzschicht mit Einsatz von Spritzrobotern. In: Spritzbeton-Technologie 2006, Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik der Universität Innsbruck, 2006.