
USE OF THE DRY- MIX SHOTCRETE PROCESS FOR THE CONSTRUCTION OF LARGE CURVED WALLS AT THE MUSEUM OF THE HISTORY OF POLISH JEWS IN WARSAW

DER EINSATZ VON TROCKENSPRITZBETON-TECHNOLOGIE IN DER UMSETZUNG VON GROSSEN GEKRÜMMTEN BETONWÄNDEN IM MUSEUM DER GESCHICHTE DER POLNISCHEN JUDEN IN WARSCHAU

Jozef **Jasiczak**, Poznan University of Technology, Poznan, Poland
Wlodzimierz **Majchrzak**, SPB TORKRET, Poznan, Poland
Wlodzimierz **Czajka**, SPB TORKRET, Poznan, Poland

The paper presents the design and construction of a curved wall at the Museum of History of Polish Jews in Warsaw. The curved wall designed by architect Professor Rainer Mahlamäki symbolizes the parting of the Red Sea during the Israelite Exodus from Egypt. The original concept of constructing wall elements with fiber concrete panels was not adopted. The decision was made to use dry-mix shotcrete technology instead. The paper discusses the construction issues, the spatial location of XYZ points of the concrete shell and the order of the execution of individual job stages. Special attention was paid to the architectural aspect of the external wall surface, drawing elements and the planned colour.

Der Beitrag präsentiert das Konzept und die Durchführung einer gekrümmten Wand am Museum der Geschichte der polnischen Juden in Warschau. Die gekrümmte Wand entworfen vom Architekten Professor Rainer Mahlamäki symbolisiert die Teilung des Roten Meers während des israelitischen Exodus von Ägypten. Das ursprüngliche Konzept der Umsetzung von Wandelementen aus Fasernbetonplatten wurde nicht angenommen. Die Entscheidung wurde gefällt, die Trockenspritzbeton-Technologie zu verwenden. Der Beitrag bespricht die Bauprobleme, die Raumposition von XYZ Punkten der Wandschale und die Reihenfolge der einzelnen Arbeitsschritte. Spezielle Aufmerksamkeit wird auch auf die architektonischen Aspekte (Grafik, Farbe) wie die Ausführung der Außenfläche der Wand gerichtet.

ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN VERSCHIEDENEN REGELWERKEN FÜR SPRITZBETONE/-MÖRTEL IN DEUTSCHLAND

RELATIONS BETWEEN VARIOUS TECHNICAL GUIDELINES FOR SPRAYED CONCRETE / SPRAYED MORTAR IN GERMANY

Rolf **Breitenbücher**, Lehrstuhl für Baustofftechnik, Ruhr-Universität Bochum, Germany

Für die Herstellung, Verwendung und Überwachung von Spritzbeton und Spritzmörtel sind in Deutschland Regelungen in zum Teil unterschiedlichen Regelwerken festgelegt. Dies führt des Öfteren zu Irritationen. Insbesondere sind davon die notwendigen Nachweise, die teilweise vom Hersteller der Grundmischung, teilweise vom Verarbeiter vorzunehmen sind, betroffen. Des Weiteren hat es in letzter Zeit auch Unstimmigkeiten bezüglich der Anwendung von reinem, nicht-kunststoffmodifiziertem Spritzmörtel nach DIN 18551 im Bereich der Instandsetzung von Betonbauteilen gegeben. Im Beitrag werden die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den diversen für Spritzbeton und Spritzmörtel relevanten Regelwerken dargelegt.

In Germany rules for production, application and conformity for sprayed concrete and sprayed mortar have been defined in various guidelines. This often results in irritations. This mainly belongs to the required proofs, which have to be performed partly by the producers of the basic mixes, partly by the contractors on site. Furthermore in the last time discussions have been arisen referring the application of non-polymer-modified sprayed mortar according DIN 18551 within repair works. In the report the most important relations between the various guidelines are illustrated.

REINFORCED SHOTCRETE WITH BAR DIAMETERS UP TO 32 MM

BEWEHRTER SPRITZBETON MIT STABDURCHMESSER BIS 32 MM

Martin **Fischer**, BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck, Austria
Matthias **Hofmann**, BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck, Austria

The Crossrail project in London is currently the largest infrastructure project in Europe. The contract C510 comprises the construction of two underground stations in sprayed concrete lining (SCL), Liverpool Street and Whitechapel. Based on the absolute priority of health and safety during all construction phases and structural demands it became necessary to spray reinforced shotcrete with bar diameters up to 32 mm.

Planned quality control through coring in the very early construction stages identified shadowing in some areas which initiated a study to find the maximum possible bar sizes to be sprayed in for permanent works. Large scale trials for sprayed-in bar diameters from 16 mm to 32 mm have been carried out and about 400 cores have been taken around the whole tunnel circumference and analysed systematically according to ACI 506.02-95 standard. This paper provides the results of the trials carried out including an evaluation of the probability of poor rebar encapsulation. In areas of poor encapsulation of the bars the bond between shotcrete and reinforcement is affected. The impacts on load bearing capacity and durability are assessed.

Das Projekt Crossrail in London ist das derzeit größte Infrastrukturprojekt Europas. Das Bauprojekt C510 umfasst den Bau zweier Stationen in Spritzbetonbauweise, Liverpool Street und Whitechapel. Bedingt durch die absolute Priorität von Arbeitssicherheit im Bauablauf sowie konstruktiven Vorgaben ergab sich die Notwendigkeit, bewehrten Spritzbeton mit Stabdurchmessern bis 32 mm auszuführen.

Geplante Qualitätskontrollen mittels Bohrkernen haben zu Beginn der Ausführung Spritzschatten im Bauwerk festgestellt. Dies initiierte eine umfangreiche Studie über den maximal einspritzbaren Bewehrungsdurchmesser. Hierzu wurden Großfeldversuche zum Einspritzen von Stäben mit Durchmessern von 16 mm bis 32 mm durchgeführt und rund 400 Bohrkern, entnommen aus der Tunnellaibung, wurden systematisch nach ACI 506.02-95 ausgewertet. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse vorgestellt und den Stabdurchmessern eine Wahrscheinlichkeit von Spritzfehlstellen zugeordnet. Im Bereich der Fehlstellen ist der Verbund zwischen Spritzbeton und Bewehrung nicht gegeben. Die Auswirkungen auf Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit werden analysiert.

SPRITZBETON IM HOCHBAU – ERFAHRUNGEN IN VANCOUVER

STRUCTURAL SHOTCRETE IN VANCOUVER

Roland **Heere**, Metro Testing Laboratories Ltd., Burnaby, Canada

Vancouver ist eine Domäne des Stahlbeton-Hochbaus. Auf Grund der benachbarten Subduktionszone zwischen der Nordamerikanischen Kontinentalplatte und der Juan-de-Fuca-Platte ist Vancouver erdbebengefährdet. Die daraus folgenden Lastannahmen zwingen Statiker, stark bewehrte Stahlbetontragwerke zu konstruieren. Demzufolge findet man häufig tragende Wände, die mit zwei schweren Stahlmatten bewehrt sind. Dafür werden oft Stäbe mit Durchmessern von 20 bis 30 mm Durchmesser verarbeitet. Dennoch setzen Bauunternehmen gern Nassspritzbeton für das Betonieren solcher Elemente ein, wenn schnellstmöglicher Baufortschritt wichtig ist. Dichte Bewehrung und hohes Bautempo erfordern spezielle Betonmischungen, geeignete Spritzbetonpumpen und handwerkliches Geschick der Mannschaften. Auf vielen Baustellen führen Prüflabors nicht nur die Fremdüberwachung der Betongüte durch, sondern begleiten auch die Bauausführung.

Vancouver has a vibrant structural shotcrete industry. However, it is earth-quake prone due to its proximity to the subduction zone between the North American and Juan-de-Fuca Plates. Consequently, shotcrete structures require heavy reinforcement. Frequently structural walls are reinforced with two rebar mats. Rebar diameters of 20 to 30 mm diameter are not uncommon. Enticed by the short construction cycles possible with the shotcrete process, structural shotcrete applicators have adapted to such heavy reinforcement. They are aided by specialist equipment, ready-mix suppliers, experienced nozzle-men, and testing laboratories, which provide not only materials testing but also placement monitoring services.

ÜBER DEN EINSATZ VON WEISSEM SPRITZMÖRTEL AM AGNESBURGTUNNEL

THE APPLICATION OF WHITE GUNITE AT THE AGNESBERGTUNNEL

Dominik **Khaur**, H. Junger Baugesellschaft m.b.H., Irdning, Österreich
Günter **Vogl**, H. Junger Baugesellschaft m.b.H., Irdning, Österreich

Der zweiröhrige Agnesburgtunnel, 1987 als zweischalige Innenschale ohne Abdichtung ausgebildet, wies durch den Betrieb bereits beträchtliche Schäden an der Innenschale auf. Durch Risse im Beton kommt es großflächig zu Bergwasserzutritten. Die sich bereits ablösende Tunnelbeschichtung erfüllte nicht mehr die ans sie gestellten Anforderungen.

Anstelle einer konventionellen Sanierung mittels SPCC und einem Oberflächenschutzsystem (OS- System entsprechend ZTV-ING) ist in der sanierten Oströhre eine weiße, geglättete Spritzmörteloberfläche ausgebildet worden, welche keine Unverträglichkeit mit den im Altbeton verbliebenen Chloriden besitzt, zu keinen Ablösungen durch drückende Wässer aus dem Gewölbebeton neigt, die Vorgabe für Bauprodukte der Bauklasse A nach DIN 4102 erfüllt und somit keine zusätzliche Gefährdung der Verkehrsteilnehmer im Brandfall darstellt.

The Agnesburgtunnel was built in the years 1983 to 1986 and the lining was designed as a double layer construction without the use of a waterproofing membrane. Due to the exposed use (traffic, pollutants) the inner lining shows multiple concrete damages. Cracks and broken out areas tend to carry groundwater from the rock into the construction. The surface protection system was no longer working.

Instead of a resin coating a white gunite layer was finally applied on the inner lining. No negative reactions between the remaining chloride or the wet surface and the final layer will occur. White gunite also complies with DIN 4102 "Bauklasse A", so no hazard for traffic is caused.

ZUR QUERKRAFTVERSTÄRKUNG VON SPANNBETONTRÄGERN UNTER ZYKLISCHEN LASTEN MIT TEXILBEWEHRTEM SPRITZBETON

SHEAR STRENGTHENING OF PRESTRESSED CONCRETE BEAMS WITH TEXTILE REINFORCED SPRAYED CONCRETE UNDER CYCLIC LOADING

Martin **Herbrand**, RWTH Aachen, Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland
Josef **Hegger**, RWTH Aachen, Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland

Ein großer Teil der älteren Autobahnbrücken in Deutschland weist aufgrund der ansteigenden Verkehrslasten rechnerische Querkrafttragdefizite unter statischer und zyklischer Belastung auf. Aus diesem Grund werden zunehmend Verstärkungsmaßnahmen erforderlich, um die zusätzlichen Lasten aufnehmen und kostspielige Neubaumaßnahmen vermeiden zu können. In einem aktuellen Forschungsprojekt des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen wird daher die Wirksamkeit einer textilbewehrten Spritzbetonverstärkung auf den Trägerstegen auf die Ermüdungsfestigkeit von Spannbetonträgern zur Entwicklung eines effektiven Verstärkungsverfahrens für Spannbetonbrücken untersucht. Im Rahmen des Projekts werden acht Versuchsträger mit einer Gesamtlänge von jeweils 6,5 m durch zyklische Mehrstufenversuche geprüft. In diesem Artikel werden sowohl Details zur Herstellung der Verstärkungsschicht als auch erste Ergebnisse der Ermüdungsversuche vorgestellt.

A large part of the existing highway bridges in Germany exhibits calculative shear capacity deficits under static and cyclic loading. For this reason, more structures are expected to demand refurbishment and strengthening within the next years in order to account for the higher loads and to avoid expensive new structures. In the current research project of the Institute for Structural Concrete at RWTH Aachen University, the effect of an additional textile reinforced concrete layer on the shear capacity under cyclic loading is investigated. The aim is the development of an effective strengthening procedure for existing prestressed concrete bridges. Eight tests on prestressed concrete beams with a total length of 6,5 m will be tested under cyclic shear loading. This article describes details about the strengthening of the beams as well as preliminary test results.

UNTERSUCHUNGEN ZUM TRAGVERHALTEN DER VERBUNDFUGE VON SPRITZBETONERGÄNZUNGEN – ALLGEMEINE ERKENNTNISSE UND AUSBLICKE FÜR DIE EINSCHALIGE SPRITZBETONBAUWEISE IM TUNNELBAU

VERIFICATION OF THE BOND STRENGTH OF SPRAYED CONCRETE – GENERAL CONCLUSIONS AND OUTLOOK FOR SINGLE TUNNEL LININGS

Sebastian **Schmidt**, Technische Universität München, Deutschland
Gereon **Behnen**, Büchting+Streit AG, München, Deutschland
Oliver **Fischer**, Technische Universität München, Deutschland

Der Einsatz von Spritzbeton hat sich mittlerweile in den verschiedenen Bereichen des Bauingenieurwesens wie der Verstärkung von bestehenden Tragwerken oder im Tunnelbau etabliert. Wird im Tunnelbau die als Sofortsicherung wirkende Spritzbeton-Außenschale nach Ergänzung mit einer zusätzlichen Spritzbeton-Innenschale als „einschalige Spritzbetonbauweise“ ausgeführt, kommt der im Endzustand angesetzten monolithischen Verbundwirkung der beiden Spritzbetonschalen – wie auch ganz allgemein bei der Spritzbetonverstärkung bestehender Stahlbetonbauteile, eine maßgebliche Bedeutung zu.

Da jedoch nur wenige experimentelle Untersuchungen, welche die aktuell geforderten Oberflächenbehandlungsmethoden berücksichtigen, vorliegen, wurden am Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München Untersuchungen zur Tragfähigkeit der Verbundfuge von Spritzbetonergänzungen durchgeführt. Desweiteren wird ein Ausblick auf eine mögliche Verbundfugenbemessung zur Anwendung bei einschaliger Tunnelbauweise gegeben, welche den durch die Dilatationsbehinderung zusätzlich entstehenden Querdruck berücksichtigt und somit die übertragbaren Verbundspannungen besser ausgenutzt werden können.

By now, the application of sprayed concrete has been established in the different areas of construction such as reinforcing existing structures or in tunneling. If the first outer layer of sprayed concrete in tunneling is constructed with an additional layer of sprayed concrete as single tunnel lining, the bond strength between the two layers becomes of crucial importance – like in reinforcing existing structures with sprayed concrete in general.

Since experimental results investigating the currently demanded surface treatment methods are limited, the institute of concrete structures of Technische Universität München has conducted additional research on the bond strength of sprayed concrete. Furthermore an outlook to a possible structural design method of the force transfer in the interface of single tunnel linings is given. This possible structural design method takes into account the lateral pressure induced by the restricted dilation and thus shows ways to make better use of transmittable bond strength.

EINE KONTROVERS GEFÜHRTE DISKUSSION: SPRITZBARE ABDICHTUNG IM TUNNELBAU

A CONTROVERSIAL DISCUSSION: SPRAY-APPLIED MEMBRANES FOR TUNNELLING

Stefan **Lemke**, Sika Services AG, Zürich, Schweiz

Seit einiger Zeit werden Spritzabdichtungen auch für den Einsatz im Tunnelbau diskutiert und finden bereits projektbezogen Ihre Anwendung, zum Teil mit widersprüchlichen Erfolgsaussagen. Dieser Beitrag versucht daher mögliche Grenzen dieser neuen Anwendungstechnologie objektiv, jedoch kritisch zu erörtern.

For some time now, spray-applied waterproofing membranes have been reviewed and discussed for the use in mined tunnel constructions. Indeed these have already been applied on some projects, but seemingly with rather inconsistent results. The subject of this publication is to present an objective overview and some potentially critical limitations of this new application technology and approach.

TWISTED STEEL MICRO REINFORCEMENT (TSMR) FOR SHOTCRETE

VERDRILLTE STAHLFASERN ALS MICROBEWEHRUNG (TSMR) FÜR SPRITZBETON

Luke **Pinkerton**, Helix Steel, Ann Arbor, MI, USA
Hans **Hausfeld**, Helix Steel, Ann Arbor, MI, USA

Steel fibers have been used to reinforce shotcrete, replacing traditional steel wire mesh, for over twenty years. They are added to shotcrete to improve energy absorption, crack resistance and provide ductility. All three properties are very important for support systems designed for tunnel and mine conditions. TSMR (Twisted Steel Micro Reinforcement), takes shotcrete reinforcement one step further.

The twisted anchorage and yielding properties of these new fibers provide all these benefits and more at much lower dosages than had previously thought possible – 50% lower than hooked type fibers. Significant improvements in compressive, splitting tensile and flexural strengths have been documented.

Stahlfasern als Ersatz für die traditionelle Mattenbewehrung werden bereits seit 20 Jahren für Spritzbeton eingesetzt. Sie werden dem Spritzbeton zugesetzt, um das Energieabsorptionsvermögen und den Widerstand gegen Rissbildung zu verbessern und dem Beton duktilere Eigenschaften zu geben. Alle drei Eigenschaften sind für die Sicherung von Tunnels und Bergwerken von großer Bedeutung. TSMR (Verdrillte Stahl Mikro Bewehrung) bringt die Spritzbetonbewehrung einen Schritt weiter.

Die Verdrillung der Verankerung und die Fließigenschaften dieser neuen Faser ermöglichen diese Vorteile bei deutlich reduzierter Dosierung. 50 % Reduzierung gegenüber Fasern mit Endhaken waren früher nicht vorstellbar. Erhebliche Verbesserungen bezüglich Druckfestigkeit, Spaltzugfestigkeit und Biegezugfestigkeit werden belegt.

ENTWICKLUNG EINES SPRITZBETONS MIT SEHR HOHEM FASERANTEIL ALS BAUWERKSSCHUTZ FÜR BRAND- UND EXPLOSIONSBELASTUNGEN

DEVELOPMENT OF A SPRAYED CONCRETE WITH HIGH FIBER CONTENT AS A COUNTERMEASURE FOR BUILDINGS UNDER FIRE AND EXPLOSIVE LOADS

Götz **Vollmann**, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Bochum, Deutschland
Markus **Thewes**, Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb, Bochum, Deutschland
Eugen **Kleen**, MC Bauchemie, Bottrop, Deutschland

Extreme Einwirkungen – vor allem solche aus Explosionsereignissen oder starken Bränden – stellen bei kritischen Bauwerken der urbanen Infrastruktur eine valide Bedrohung dar. Derzeit sind hierfür nur wenige Gegenmaßnahmen vorhanden, die zudem zumeist gezielt für bestimmte Szenarien entwickelt wurden und daher eventuell Probleme bei hiervon abweichenden Einwirkungen bedingen. Zusätzlich sind viele Maßnahmen vor allem als flächige Schutzkonstruktionen verfügbar und stoßen daher bei komplexen Geometrien rasch an ihre Grenzen. Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben die Entwicklung eines spritzfähigen Hochleistungsbetons, der gleichermaßen eine Schutzwirkung gegen Brand- und Explosionsereignisse besitzt und aufgrund seiner verfahrenstechnischen Randbedingungen auch bei komplexen räumlichen Bedingungen eingesetzt werden kann.

Extreme impact, as it may result from scenarios like explosions or huge fires, has to be considered as a valid scenario especially when dealing with objects of our urban infrastructure. Currently there is only a limited amount of countermeasures available with most of them being developed for one specific threat – fire or explosion. Thus differing impact might expose weaknesses of the measure concerning other threats. Also, most of these products are provided as planar elements with additional problems if the surface to be secured shows a complex geometry. The following publication describes the development of a high-performance sprayed concrete that not only provides resilience against the mentioned threats but also has a high level of applicability even under difficult spatial conditions.

LABORUNTERSUCHUNGEN UND KLEINSPRITZVERSUCHE ZUR REDUZIERUNG DER CALCIUMFREISETZUNG

POTENTIAL FOR PRECIPITATIONS - LAB TESTS AND SPRAYED MORTAR TESTS FOR THE REDUCTION OF CALCIUM LEACHING

Maria **Thumann**, OTH Regensburg, Deutschland
Michael **Hartmaier**, Rohrdorfer Zement, Deutschland
Andreas **Saxer**, Universität Innsbruck, Österreich
Wolfgang **Kusterle**, OTH Regensburg, Deutschland

Die Calciumfreisetzung aus von Bergwasser umspülten Spritzbeton kann unter Umständen das Versintern des sekundären Tunnelentwässerungssystems verstärken. Versinterungen in den Drainagerohren führen aber zu aufwendigen Unterhaltsarbeiten. Die ÖBV-Richtlinie „Spritzbeton“ sieht bei Bedarf die Festlegung einer besonderen Eigenschaft RV (Reduziertes Versinterungspotential) vor. Im Forschungsprogramm REDUV, gefördert von der Bayerischen Forschungsfoundation, werden Grundlagenuntersuchungen zur Calciumfreisetzung nach dem ÖBV-Merkblatt „Festlegung des Reduzierten Versinterungspotentials“ durchgeführt. Die Ergebnisse von Laboruntersuchungen und Kleinspritzversuchen werden vorgestellt. Daraus ergeben sich Hinweise zur Mischungsoptimierung und zielsicheren Versuchsdurchführung.

The contact of underground water with shotcrete leads to leaching of calcium hydroxide and can increase the precipitation of calcite in the secondary drainage system of tunnels under certain conditions. Indeed precipitations in the drainage pipes lead to high maintenance costs. The Austrian guideline "Shotcrete" provides a concrete specification called RV (= reduced potential for precipitations) where necessary. The leaching behavior of shotcrete according to the Austrian code of practice "Determination of the Reduced Potential for Precipitations" is studied in baseline investigations within the research project "REDUV", which is funded by the Bavarian Research Foundation. The results of laboratory and sprayed mortar tests are presented in this paper. These results indicate how the concrete mix design can be improved and the test procedure can be optimized in a successful way.

SPRITZBETON MIT REDUZIERTEM VERSINTERUNGSPOTENTIAL - PRAKTISCHE ANWENDUNG AUF ÖSTERREICHISCHEN GROSSBAUSTELLEN

SPRAYED CONCRETE WITH REDUCED PRECIPITATION POTENTIAL – PRACTICAL EXPERENCES FROM MAJOR CONSTRUCTION SITES IN AUSTRIA

Walter **Pichler**, Material Consult Dr. Pichler ZT GmbH, Hart, Österreich
Hanns **Wagner**, ÖBB-Infrastruktur AG, Graz, Österreich
Romed **Insam**, Brenner Basistunnel BBT SE, Innsbruck, Österreich

Beginnend 2010 mit dem Bau des ersten Bauloses am Koralmtunnel wird in Österreich zunehmend bei großen Tunnelbauvorhaben die Anforderung an eine begrenzte Auslaugbarkeit von Calcium aus dem Spritzbeton gestellt, mit dem Ziel die laufenden Instandhaltungskosten, die durch Reinigungsarbeiten der Drainagen entstehen, zu verringern.

Durch die Evaluierung des Prüfverfahrens, der Festlegung eines möglichen Grenzwertes und die Veröffentlichung des ÖBV Merkblattes „Festlegung des reduzierten Versinterungspotentials“ wurden die Erkenntnisse, die im Zuge des ersten Bauloses des Koralmtunnel der ÖBB-Infrastruktur AG gewonnen wurden der Fachwelt zugänglich gemacht. Die Verwendung von Spritzbeton mit „reduziertem Versinterungspotential“ ist in Österreich dadurch innerhalb weniger Jahre Stand der Technik geworden.

Die Erfahrungen von mehreren Großbaustellen mit Spritzbeton, der ein reduziertes Versinterungspotential aufweist, werden in diesem Dokument dargelegt.

Ever since the first building section of the Koralm Tunnel in 2010 more and more requirements have been imposed on limiting the calcium leaching from the sprayed concrete at major Austrian railway projects. The aim is to reduce the maintenance costs for the cleaning of the drainage system.

The findings, which were acquired during the first building section of the Koralm Tunnel by the ÖBB-Infrastruktur AG, have been made accessible to experts through the evaluation of the test procedure, the establishing of a possible limit value as well as the publication of the OEBV Bulletin “Specification for Reduced Precipitation Potential“. The application of sprayed concrete with “reduced precipitation potential“ has therefore become the state of the art technique in Austria within the last few years.

The experience made at multiple major railway construction sites using sprayed concrete with reduced precipitation potential is presented in this paper.

IN SITU OBSERVATIONS AND LABORATORY TESTING OF SHRINKAGE CRACKING IN SHOTCRETE ON SOFT DRAINS

IN SITU UNTERSUCHUNGEN UND LABORTTESTS ZU SCHWINDRISSEN IN SPRITZBETON AUF DRAINAGEMATTEN

Anders **Ansell**, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
Lars Elof **Bryne**, Vattenfall Research and Development AB, Älvkarleby, Sweden

In Scandinavian traffic tunnels soft drains covered with shotcrete are often installed to lead away un-wanted water, giving little resistance to shotcrete shrinkage, which may cause severe cracking. Mapping of shrinkage cracks was done in situ, followed by analyses focused on stresses due to drying shrinkage and various time of waiting between turns of spraying, with or without water curing. The effect of dilatation joints has also been investigated. A recently developed laboratory test set-up with shotcrete on instrumented granite slabs represent shrinkage of shotcrete on soft drains. The test results indicate that addition of glass fibres could reduce the cracking problem.

In skandinavischen Verkehrstunneln werden oft Drainagematten mit Spritzbetonüberdeckung zur Ableitung von ungewolltem Wasser verwendet. Der zu geringe Widerstand gegen Schwindrisse führt dabei zu unkontrollierten Rissen im Beton. Hierzu wurden In Situ Aufzeichnungen von Schwindrissen durchgeführt, gefolgt von Berechnungen mit dem Augenmerk auf die Spannungsentwicklung im Spritzbeton während des Schwindens bei unterschiedlichen Wartezeiten zwischen den Spritzlagen, mit und ohne Nachbehandlung. Zusätzlich wurden die Auswirkungen von Fugen untersucht. Eine vor kurzem entwickelte Messeinrichtung, bei der der Spritzbeton auf eine Granitmessplatte aufgebracht wird, repräsentiert dabei das Verhalten auf Drainagematten. Die Testergebnisse zeigen, dass eine Verstärkung des Spritzbetons mittels Glasfasern das Schwindrissproblem reduziert.

MINIATURISIERTES LABORSPRITZVERFAHREN FÜR SPRITZBETON – NEUE MÖGLICHKEITEN DER PRODUKTENTWICKLUNG, REZEPTUROPTIMIERUNG UND QUALITÄTSKONTROLLE

MINIATURISED LABORATORY SPRAY METHOD FOR SHOTCRETE – NEW POSSIBILITIES FOR THE PRODUCT DEVELOPMENT, MIX DESIGN OPTIMISATION AND QUALITY CONTROL

Benedikt **Lindlar**, Sika Technology AG, Zürich, Schweiz
Christian **Stenger**, Sika Technology AG, Zürich, Schweiz
Didier **Lootens**, Sika Technology AG, Zürich, Schweiz

Für die Festigkeitsentwicklung des Spritzbetons fehlt bis heute eine schnelle Laborprüfmethode, welche sich für die gegebene Fragestellung eignet sowie eine hohe Genauigkeit der Messungen aufweist. Klassische Mörtel- und Betonprüfverfahren aus dem Laborbereich zur Messung der Erstarrung und des Aushärtens stoßen auf Grund der Besonderheiten im Spritzbeton in der Regel schnell an ihre Grenzen und die Resultate sind dann im Hinblick auf die realen Spritzbetonsysteme wenig hilfreich. Eine solche Methode im Labormaßstab ist also ein höchst interessanter Aspekt der Spritzbetonprüfung. Sie bietet nicht nur verbesserte Möglichkeiten der gezielten Zusatzmittelentwicklung, sondern auch im Hinblick auf die Spritzbetonrezeptur-Optimierung und die kontinuierliche Qualitätsüberwachung des Spritzbetons. Eine solche Qualitätsüberwachung betrifft nicht nur die Zusatzmittel sondern alle reaktiven Rohstoffe des Spritzbetons.

Mit dem Laborsystem MiniShot wird erstmals die Möglichkeiten einer realitätsnahen Probenzubereitung in Kombination mit einer kontinuierlichen, zerstörungsfreien Festigkeitsmessung mittels Ultraschall vorgestellt.

Till now, there is no fast, valid and reliable laboratory testing method available for the different aspects of shotcrete strength development. The current testing methods as typically applied in mortars and concrete, when used in shotcrete, usually prove to be no more valid for this application due to the very specific characteristics of the shotcrete technology. Consequently, the outcome of these laboratory tests is not as helpful regarding predictability on the real system as it would be required. Hence, such a testing method on laboratory scale would be highly interesting. It would not only provide an improved tool for admixture development but also for mix design optimisation and the quality assurance of shotcrete. The latter regarding the admixtures and the accelerator as well as all reactive components of the shotcrete.

With the laboratory system MiniShot, we demonstrate the possibilities of a realistic specimen production in combination with a continuous, non-destructive strength measurement using ultrasound technology.

VERFAHREN ZUR OBERFLÄCHENGESTALTUNG IM ZUGE DER BETONINSTANDSETZUNG UND BAUTEILERTÜCHTIGUNG MIT SPRITZBETON

SURFACE FORMING METHOD FOR SHOTCRETE USED IN STRUCTURAL REPAIR AND STRENGTHENING WORKS

Erich **Erhard**, TORCRET GmbH, Essen, Germany

Spritzbeton im Tunnelbau, zur Sicherung von Baugruben und Stützwänden und zur Instandsetzung von Bauwerken wurde seit Anfang des 20. Jahrhunderts bis heute zum Standard, ist genormt und wird täglich angewendet. Relativ unbekannt ist jedoch, dass die mit Spritzbeton ertüchtigten und instandgesetzten Bauteile, Stützwände, Brückenunterbauten und Fassaden gleichzeitig auch in der Oberfläche -ohne weitere Beschichtungen- robust und optisch ansprechend gestaltet werden können. Neu ist es bei Instandsetzungen und Verstärkungen profilierten Spritzbeton bewusst als Sichtbeton einzusetzen.

Mit temporär, in den noch frischen Spritzbeton eingelegten Matrizen und bei Verwendung von farbigen Betonausgangsmischungen, bieten sich mit dem seit 2009 patentrechtlich geschützten Verfahren unserer Firma interessante gestalterische Perspektiven. Reliefartig strukturierter Spritzbeton wird vorwiegend an Bestandsbauten zur Gestaltung der Ansichtsflächen im Zuge von Instandsetzungsmaßnahmen zusätzlich aufgebracht, um damit auf kostenintensive Vorsatzschalen zu verzichten.

The application of shotcrete in tunnel construction, to secure the slope of excavations and retaining walls and to repair structures has become a standard procedure since the beginning of the 20th century until today. Shotcrete application today is standardized daily business. However, relatively unknown is the fact that elements repaired with shotcrete, as for instance retaining walls, bridge undersides and facades can have a robust and in the same time attractive finish without any further coating layer. In new constructions or when strengthening elements, shotcrete can distinctively be used to create facing concrete sur-faces.

By temporarily placing matrices into the fresh concrete and by using coloured mixtures, interesting surface formations are possible by the use of a patented method since 2009 from our company. Relief-like structured shotcrete is commonly applied on existing buildings under refurbishment measures in order to design surfaces, which even allows to replace cost-intensive shells.

EINFLUSS VON LUFTMENGE UND DÜSENABSTAND AUF DIE EIGENSCHAFTEN DES APPLIZIERTEN SPRITZBETONS

INFLUENCE OF AIR CONSUMPTION AND NOZZLE DISTANCE ON PROPERTIES OF APPLIED SPRAYED CONCRETE

Volker **Wetzig**, VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums, Schweiz
Peter **Kuhn**henn, VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums, Schweiz
Maximilian **Wietek**, VersuchsStollen Hagerbach AG, Flums, Schweiz

Druckluft ist ein wesentliches Element bei der Applikation von Spritzbeton im Trocken- und Nassspritzverfahren. Für eine wirtschaftliche Optimierung des Spritzprozesses ist die Wahl der richtigen Druckluftmenge und damit auch die Wahl der zweckmässigen Installationen auf der Baustelle bzw. den Spritzeinrichtungen entscheidend. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf Anwendungen im Nassspritzverfahren.

Im Rahmen des von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Projektes I²Mine wurden der Einfluss von Druckluftverbrauch und Düsenabstand auf die Qualität des Spritzbetons und des Faserrückpralls untersucht.

Neben Förderluftmenge und Düsenabstand wurden die folgenden Parameter bei den Untersuchungen variiert:

- Betonfördermenge
- Beschleunigerdosierung

Die Untersuchungen erfolgten unter den Randbedingungen eines realen Tunnelumfeldes. Bei einer sehr guten Reproduzierbarkeit wurde nachgewiesen, dass die Spritzbetoneigenschaften als Gesamtheit, die Druckfestigkeit jedoch nur untergeordnet, je nach Randbedingungen unterschiedlich intensiv durch Veränderungen von Förderluftmenge und Düsenabstand beeinflusst werden.

Compressed air is an essential element for the application of sprayed concrete in the dry and wet-mix application process. For an economical optimization of the spraying process the choice of appropriate air consumption and equipment is essential.

In the scope of the European Union funded research project I²Mine, the influence of air consumption and nozzle distance on the properties of sprayed concrete and fiber rebound has been investigated. Next to the air consumption and nozzle distance, the following parameters have been modified:

- *Pump rate of concrete*
- *Dosage of accelerator*

The investigations took place under real tunnel conditions. The reproducibility was excellent. It was shown that the entire technological parameters of sprayed concrete do depend on changes in consumed air and nozzle distance. Compressive strength does that too, but to a lower extent.

ERNEUERUNG ALTER TUNNELBAUWERKE DER DEUTSCHEN BAHN AM BEISPIEL DES BEBENROTHTUNNELS BEI WITZENHAUSEN

RENEWAL OF OLD TUNNEL STRUCTURES OF THE DB BY EXAMPLE OF THE BEBENROTHTUNNEL NEAR WITZENHAUSEN

Mario **Fankhauser**, BeMo Tunnelling GmbH, Innsbruck

Der zweigleisige Bebenrothtunnel der Eisenbahnstrecke Bebra – Göttingen ist sanierungsbedürftig. Es handelt sich um eine Strecke mit einem zu erwartenden Güter- und Personenverkehr von ca. 170 Zügen pro Tag. Um den in den Jahren 1872 bis 1875 gebauten Alten Bebenrothtunnel an die neuesten betrieblichen und sicherheitstechnischen Anforderungen der Deutschen Bahn anzupassen, wurde in Parallellage zum alten Tunnel der Neue Bebenrothtunnel errichtet.

Nach Inbetriebnahme des Neuen Tunnels wird der Alte Bebenrothtunnel derzeit erneuert. Dabei wird der Tunnel auf einen eingleisigen Tunnelquerschnitt rückgebaut. Nach Abschluss dieser Erneuerung werden beide Tunnel dann jeweils nur noch eingleisig befahren. Der Vortrag behandelt die Maßnahmen im Zuge der Sanierung des Alten Bebenroth Tunnels. Die auszuführenden Hauptleistungen umfassen dabei die Injektion der Hinterpackung des Natursteinmauerwerks, Einbau einer Spritzbetonschale, Eintiefung der Tunnelsohle und Einbau einer druckhaltenden WU-Innenschale.

The existing double track Bebenrothtunnel on the railway line Bebra - Göttingen required an extensive refurbishment. The expected frequency on this line is estimated to be approx. 170 trains per day. To adjust the existing tunnel structure, built between 1872 and 1875, to the latest safety and operational standards of the Deutsche Bahn, a new single track tunnel was built parallel to the existing structure.

Once the new tunnel is completed, the new and the old, but now refurbished tunnel will be operated as two single track tunnels. This paper deals with the required measures to refurbish the existing tunnel, such as contact grouting behind the existing sandstone structure, construction of the shotcrete primary lining, additional invert excavation works and the watertight concrete structures for the final lining.

SCHUTZSCHICHTEN AUS TEXTILBEWEHRTEM SPRITZMÖRTEL ZUR INSTANDSETZUNG VON WASSERBAUWERKEN

TEXTILE-REINFORCED PROTECTION LAYERS FOR MAINTENANCE OF HYDRALIC STRUCTURES

Sergej **Rempel**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland
Josef **Hegger**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland
Norbert **Will**, Lehrstuhl und Institut für Massivbau, Aachen, Deutschland

Das innovative Verfahren zur Instandsetzung minderfester Betone mit textilbewehrten, polymermodifizierten Spritzmörteln (SPCC) weist viele Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren auf. Mit Hilfe der Textilien werden sich zyklisch öffnende Einzelrisse im Untergrund in ein fein verteiltes und damit unschädliches Rissbild im Instandsetzungsmörtel überführt. Der Verbund des Spritzmörtels zum minderfesten Beton wird neben der Adhäsion über die textile Bewehrung und Anker realisiert. Die Spritzmörtel werden als Trockenspritzmörtel entwickelt, um bei der Materialverarbeitung auf in der Baupraxis bereits etablierte Verfahren zurückzugreifen. Für die Instandsetzung des Altbetons ist bewehrter Spritzbeton mit einer Dicke ≥ 90 mm vorgesehen. Mit dem textilbewehrten Mörtel lassen sich Dicken von < 40 mm realisieren.

The innovative system for retrofitting of aged low strength concrete with textile reinforced polymer modified gunite (SPCC) offers many advantages compared to a usual retrofitting system. The good bond behavior of the textiles transfers cyclical moving cracks into a smooth crack pattern. The adhesion to the low strength concrete and the developed anchorage system are responsible for the connection between the sprayed coat and the aged concrete. The experience with manufacturing techniques of dry shotcrete is used for the retrofitting system. The thickness of usual methods of more than 90 mm can be reduced to 40 mm and less.

KATHODISCHER KORROSIONSSCHUTZ UND BRANDSCHUTZMASSNAHMEN AM STRASSENTUNNEL RENSBURG

CATHODIC PROTECTION AND FIRE PROTECTION AT THE RENDBURG ROAD TUNNEL

Hernani **Esteves**, Ed. Züblin AG, Stuttgart, Germany
Sebastian **Mayer**, Ed. Züblin AG, Stuttgart, Germany
Ronny **Stöcklein**, Ed. Züblin AG, Stuttgart, Germany
Rajko **Adamovic**, Ed. Züblin AG, Stuttgart, Germany

Weltweit ist der kathodische Korrosionsschutz (KKS) zum Schutz von Stahlbetonbauwerken seit über 35 Jahren eine gängige und anerkannte Methode, Ingenieurbauwerke wie Brücken und Tunnel effektiv vor Korrosion zu schützen. Auch in Deutschland erfährt der kathodische Korrosionsschutz nach anfänglichem Zögern in diesem Bereich seit etwa 15 Jahren eine breitere Anwendung, insbesondere bei der Instandsetzung von Tiefgaragen und Parkhäusern. Da durch den Einbau von KKS der nachhaltige Schutz des Bewehrungsstahls sichergestellt werden kann, gilt dieses Prinzip im Privatwirtschaftssektor bereits seit langem als die oftmals attraktivere Lösung im Vergleich zu klassischen Instandsetzungsmodellen.

Mit der Instandsetzung des 1957 bis 1961 gebauten Straßentunnels Rendsburg wird der kathodische Korrosionsschutz erstmals in Deutschland in größerem Umfang in einem Tunnel eingebaut. Ziel ist es u. a., die Tunnelwandflächen, welche durch den Einbau einer 50 mm starken Schale aus kunststoffmodifiziertem Spritzbeton (SPCC) instandgesetzt werden, kathodisch zu schützen und gleichzeitig einen nach heutigen Maßstäben adäquaten Brandschutz im Tunnel sicherzustellen.

For 35 years, cathodic protection is a well-known method and a globally accepted technique to protect reinforced concrete structures like bridges and tunnels from corrosion damages. In Germany, the application of cathodic protection on concrete structures grew steadily since 1990, in particular in the field of repairing multi-story car parks and garages. As cathodic protection is a long-lasting solution to stop corrosion processes, the private sector already regards this technology to be the more sustainable and in many cases the more attractive way to run repair works.

The very first cathodic protection installation in a federal highway tunnel in Germany is currently executed in Strassentunnel Rendsburg, a tunnel constructed in the period from 1957 until 1961. Among others, the tunnel walls, which are strengthened with a layer of sprayed concrete, will be cathodically protected. In the same time, the spray concrete application represents a state-of-the-art fire protection to the tunnel.

EFNARC CREEP TEST PROCEDURE DESCRIPTION FOR SPRAYED CONCRETE AND TEST RESULTS WITH STEEL AND SYNTHETIC FIBRES

EFNARC KRIECHTEST, BESCHREIBUNG DES PRÜFVERFAHRENS FÜR SPRITZBETON MIT TESTERGEBNISSEN FÜR STAHL- UND KUNSTSTOFFFASERN

Benoit **De Rivaz**, Bekaert Maccaferri Underground Solutions BVBA, Aalst, Belgium.

Creep is a term used to define the tendency of a material to develop increasing strains through time when under a sustained load, this resulting in increasing deflection or elongation values (depending on the type of loading) with time in relation to the initial, instantaneous strain that the material experiences directly after the load is applied.

A new test procedure concerning long term behaviour of fibre reinforced concrete under constant load has recently been proposed by EFNARC [1]. The test procedure is based on the square panel test and extended for a pre-cracked panel exposed to constant load.

This paper describes the results of an experimental campaign aimed at investigating the long term behaviour of steel and macro synthetic-fibre reinforced concrete plates on continuous support. The tests show the differences in the long term behaviour for shotcrete with different types of fibres.

Kriechen ist als zeitabhängige Formänderung unter dauernd wirkender Belastung definiert. Dieses Phänomen ist daher bei manchen Materialien dafür verantwortlich, dass (je nach Beanspruchung) Durchbiegungen oder Formänderungen zur ursprünglichen elastischen, sofort auftretenden Verformung mit der Zeit mehr oder weniger stark zunehmen.

Durch EFNARC [1] wurde gerade eine neue Prüfvorschrift zum Langzeitverhalten von Faserbeton unter Dauerlast vorgeschlagen, welche auf dem Plattenbiegetest basiert.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse eines Versuchsprogramms zum Langzeitverhalten von allseitig gelagerten Platten aus Stahlfaserbeton und Kunststoffmakrofaserbeton beschrieben. Die Ergebnisse zeigen die Unterschiede im Langzeitverhalten von Betonen mit verschiedenen Fasertypen auf.

SPRITZBETON-FRÜHFESTIGKEITSMESSUNGEN – FESTLEGUNG, BESTIMMUNG, INTERPRETATION

DETERMINATION OF COMPRESSIVE STRENGTH OF YOUNG SPRAYED CONCRETE - SPECIFICATIONS, TESTING PROCEDURE, INTERPRETATION

Wolfgang **Kusterle**, OTH Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg

Die Prüfung der Spritzbeton-Frühfestigkeiten erfolgt nach EN 14488-2. Das Prüfverfahren, bestehend aus Nadelpenetration und Bolzensetzverfahren, ist allgemein gut eingeführt. Trotzdem gibt es immer wieder Unklarheiten bei der Anwendung. Im vorliegenden Beitrag wird auf die Entwicklung des Verfahrens, die zugrunde liegenden Kalibrierungen, die Festlegungen bei den Frühfestigkeitsbereichen und die Verlässlichkeit der Ergebnisse eingegangen. Die notwendigen Prüfzeitpunkte und Prüfintervalle werden erläutert. Schließlich werden mögliche Fehler bei der Messung und Interpretation sowie zukünftige Entwicklungen angesprochen.

The determination of the compressive strength of young sprayed concrete is done according to EN 14488-2. The well-approved test method consists of two methods: Penetration needle and stud driving method. During the application of these methods questions arise how to apply the test in the correct way. This paper focuses on the historical development of the test method, the calibration procedure, the early strength classes and the reliability of the method. The necessary number of tests and the checking intervals are addressed. Finally, possible mistakes during the measurement and the interpretation of the results as well as future developments are discussed.