

Oberflächenqualität von Beton bei Verwendung von Stahlschalungen

Bei der Erstellung der Innenschale eines Tunnels ist es für die Dauerhaftigkeit des Bauwerks unerlässlich, eine möglichst homogene und lunkerfreie Betonoberfläche herzustellen. Im folgenden Beitrag wird dargestellt, wie durch den Einsatz modernster Technologien die Oberflächenqualität nachhaltig verbessert werden kann.

Für die Dauerhaftigkeit der Tunnelinnenschale ist es von großer Bedeutung, dass die Betonoberfläche möglichst homogen und lunkerfrei hergestellt wurde. Die Qualität des Betons wird dabei im Wesentlichen von der Betonrezeptur, der Verarbeitung, der Nachbehandlung sowie der Art und Qualität der Schalhaut beeinflusst, wobei im Tunnel- und Stollenbau vorwiegend Stahlschalungen zum Einsatz kommen.

Im Oktober 2009 wurde die BOA Tunnelbau GmbH durch die Tunnelbauabteilung der Baresel GmbH mit der Revision und späteren Instandsetzung eines bereits mehrfach eingesetzten Gewölbeschalwagens, für das Bauvorhaben Ettendorfer Tunnel Traunstein, beauftragt. Dieser Gewölbeschalwagen wurde bereits einmal umgebaut und profiltrisch angepasst.

Aufgrund der nur geringfügigen Abweichung des Querprofils des zu bauenden Ettendorfer Tunnels zum Gewölbeschalwagen, plante das ausführende Bauunternehmen die Stahlschalhaut mit einer Kunststoffschalhaut zu

Michael M. Kipf, Geschäftsführer/CEO, BOA Tunnelbau GmbH, Wehr/Germany
www.boa-tunnelbau.de

belegen. Der Sondervorschlag des Schalungsherstellers war, die Profiländerung an den tragenden Elementen und der Stahlschalung vorzunehmen und die gesamte Stahlschalung nach Abschluss dieser Arbeiten zu beschichten.

Da der Gewölbeschalwagen, in seine Einzelteile zerlegt und über Jahre im Freien lagerte, war dieser in einem dementsprechenden Zustand. Obwohl die Stahlschalhaut mit einem Schutzlack versehen war, war der Rostbefall massiv. Die nicht geschützten Bauteile des Schalwagens waren noch stärker korrodiert und vereinzelt sogar durchgerostet (Bild 1).

Im Zuge der Revision wurde entschieden, die Stahlschalhaut durch eine Fachfirma in einer Halle komplett sandstrahlen zu lassen. Dies wäre auf der Baustelle nur sehr schwer möglich gewesen. Alle anderen Elemente, wie Transportwagen, Fahrwerke, Zylinder, Bühnen, Podeste etc. wurden direkt zum neuen Einsatzort transportiert. Im Anschluss daran galt es, die

Surface quality of concrete using steel formwork

The achievement of the most homogenous and pore-free concrete surface possible is vital for the durability of the structure when installing an inner tunnel lining. The following article illustrates how the use of the latest technology makes it possible to permanently improve surface quality.

It is of great importance for the durability of the inner tunnel lining that the concrete surface achieved should be as homogenous and pore-free as possible. The quality of the concrete is influenced essentially by the concrete formulation, its application, its curing and the type and quality of the formwork facing, with tunnel and gallery engineering primarily employing steel formwork systems.

In October 2009, BOA Tunnelbau GmbH was commissioned by the tunnel-construction department of Baresel GmbH for inspection and subsequent repair of an already

multiply used arched-formwork carriage for the Ettendorf Tunnel, Traunstein. This formwork carriage had already been converted once and adapted to the tunnel profile.

In view of the only slight difference between the transverse profile of the Ettendorf Tunnel to be constructed and the arched-formwork carriage, the contractor performing the works had planned to line the steel formwork facing with a plastic formwork facing. The formwork manufacturer submitted the alternative proposal of performing the profile adjustment on the load-bearing elements and the steel formwork, and then coating the entire steel formwork after completion of this work.

Im Freien gelagerte Schalungselemente
Formwork elements stored in the open





2
Schalhaut nach der Beschichtung
Formwork facing following coating

geeignete Beschichtung für die Stahlschalhaut auszuwählen.

Die BOA Tunnelbau GmbH beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der Verbesserung der Betonqualität von Tunnelbauwerken, insbesondere dem Anteil an Luftporen im Negativbereich der Innenschale. Nachdem Versuche mit verschiedenen Trennmitteln sowie Betonrezepturen nicht die gewünschten Erfolge brachten, wurde das Augenmerk beim Ettendorfer Tunnel auf die Oberfläche der Schalhaut gelegt.

Wie im Tunnelbau hinlänglich bekannt, ist das Reinigen der Schalhaut eines Gewölbeschalwagens zeitintensiv und schwierig. Ist dazu, wie beim Ettendorfer Tunnel, die Innenschale noch bewehrt, steht in den Ulmen und der Kalotte nur ein sehr geringer Arbeitsraum zur Verfügung. Die Reinigung erfolgt im Lückenschluss der Bewehrung bzw. durch die Betonierfenster mechanisch und mittels Spachtel. Da, je nach Anordnung der Betonierfenster, häufig nicht alle Bereiche erreicht werden, sind Schwachstellen an der späteren Betonoberfläche vorprogram-

miert. Die Oberfläche eines jeden Betons ist und bleibt ein Spiegelbild der Schalhaut und kann nur mittels diverser Nacharbeiten oder Beschichtungen verändert werden.

Selbstreinigende Oberflächen sind in vielen Bereichen von zunehmender technischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Man kann eine Schmutz abweisende Oberfläche dadurch erreichen, indem die Haftung verringert wird und sich Schmutzpartikel im Zuge der späteren Reinigung leichter abwaschen bzw. entfernen lassen. Wie erreicht man jedoch diese Verringerung der Haftung auf Oberflächen? Es gibt zwei Möglichkeiten: zum Einen die Veränderung der Oberflächenspannung und zum Anderen die Veränderung der Oberflächenstruktur.

Die Verringerung der Oberflächenspannung hat eine geringere Benetzbarkeit der Oberfläche zur Folge, den sogenannten Lotuseffekt. Der Name Lotuseffekt kommt von der Lotusblume, auf der das Wasser abperlt und dabei die auf der Oberfläche lagernden Schmutzpartikel mitnimmt.

The arched-formwork carriage had previously been dismantled and stored in the open air for years, and was in a corresponding state. It exhibited massive corrosion damage, despite a protective coating applied to the steel formwork facing. The unprotected elements of the formwork carriage manifested even more severe corrosion, including rusting through in isolated cases (Figure 1).

It was decided during the inspection to have the complete steel formwork facing sand-blasted by a specialist company in a corresponding workshop; this operation would have been extremely difficult on the site. All the other components, such as the equipment car, running gear, cylinders, platforms, work stands, etc., were shipped directly to the new working location. Selection of a suitable coating for the steel formwork facing was then the next task.

BOA Tunnelbau GmbH has for a number of years been working on improving the quality of the concrete installed in tunnel structures and, in particular, the amount of air pores in the negative zone of the inner lining. Tests using various formwork release agents and concrete formulations not having produced the desired results, attention then focused, in the case of the Ettendorf Tunnel, on the formwork facing surface.

As is generally appreciated in tunnel engineering, cleaning of the formwork facing of an arched-formwork carriage is both difficult and time-consuming. If, in addition, the inner lining is also reinforced - as in the Ettendorf Tunnel - there is only very little working space available in the side wall zone and the tunnel crown. Cleaning is then performed mechanically, and

using scrapers, in the gap in the reinforcement and through the concreting windows. Sub-standard points on the ultimate concrete surface are inevitable since, depending on the configuration of the concreting windows, it is frequently not possible to reach all areas. The surface of any finished concrete is and always remains the mirror image of the formwork facing, and can be modified only by means of various treatments or coatings.

Self-cleaning surfaces are of increasing technical and economic significance in many fields. A fouling-repelling surface can be created by decreasing the surface's adhesion, with the benefit that dirt particles can be more easily washed off and removed during subsequent cleaning. But how is this reduction of adhesion on such surfaces to be achieved? There are two possibilities: modification of surface tension, on the one hand, and modification of the surface texture, on the other.

Reducing surface tension causes the surface to have a lower wettability - the so-called „lotus effect“, a term which derives from the lotus flower, from which water runs off, entraining and removing dirt particles on the surface in the process. The complex microscopic and nanoscopic architecture of the surface is responsible for this, since it minimises adhesion. As the lotus effect is based entirely on chemical and physical structures, and has no organic component, it is also possible to create artificial self-cleaning surfaces without difficulty.

Nano-sealing can be used to modify the surface structure of the most diverse materials and achieve surface improvement in terms of resistance to water, fats,

Verantwortlich dafür ist die komplexe mikro- und nanoskopische Architektur der Oberfläche, die die Haftung minimiert. Da der Lotuseffekt ausschließlich auf chemisch-physikalischen Strukturen basiert und nicht organisch begründet ist, können selbstreinigende Oberflächen auch technisch problemlos hergestellt werden.

Mittels Nanoversiegelung kann in die Oberflächenstruktur verschiedenster Materialien eingegriffen und eine Oberflächenvergütung im Sinne einer Resistenz gegen Wasser, Fette, Öle und anderer Schmutzpartikel erzielt werden. Die Nanoversiegelung ist im Grunde eine Weiterentwicklung des Lotuseffektes.

Eine Nanoversiegelung baut auf einer extrem glatten Oberfläche auf und geht eine feste chemische Verbindung mit dieser ein. Nanopartikel haben eine Größe von weniger als 100 nm und versiegeln die Oberfläche indem sie sich absetzen. Die Versiegelung besteht darin, dass sich andere Materialien, wie zum Beispiel Wasser, Staub etc. nicht mehr ablagern können und daher abperlen. Bei poröseren Oberflächen ist ein Ablösen der Nanobeschichtung nahezu unmöglich, bei glatten Oberflächen nur mit erheblichem mechanischem Aufwand. Das bedeutet, dass eine Beschichtung dieser Art für stark belastete Oberflächen, wie eine Stahlschalung, nahezu ideal ist. Mittlerweile erlauben es einige Werkstoffe bereits Beschichtungen herzustellen, die neben hydrophoben auch über oleophobe Eigenschaften verfügen, d.h. an diesen perlen sowohl Wasser als auch Öle problemlos ab (Bild 2).

Bei der Herstellung der Gewölbeinnenschale eines Tunnels kommt es immer wieder zu einer mehr oder weniger starken Lunkerbildung an der Betonoberfläche, mit der Konsequenz einer Erhöhung der Porosität. Vor allem im Negativbereich der Schalung, im Fußpunkt, ist es fast unmöglich, die eingeschlossene Luft zwischen Schalung und Beton durch die eingebrachte Verdichtungsenergie an die Oberfläche, und somit aus dem Beton heraus zu treiben. Die Schalung wirkt in diesem Fall wie ein Deckel. Wenn jedoch die Oberfläche derart beschichtet ist, dass die Oberflächenspannung reduziert wird, können die Lufteinschlüsse im Zuge der Betonverdichten nach oben hin leichter entweichen. Die Folge ist ein deutlich verringerter Lunkeranteil in der fertigen Betonoberfläche (Bild 3).

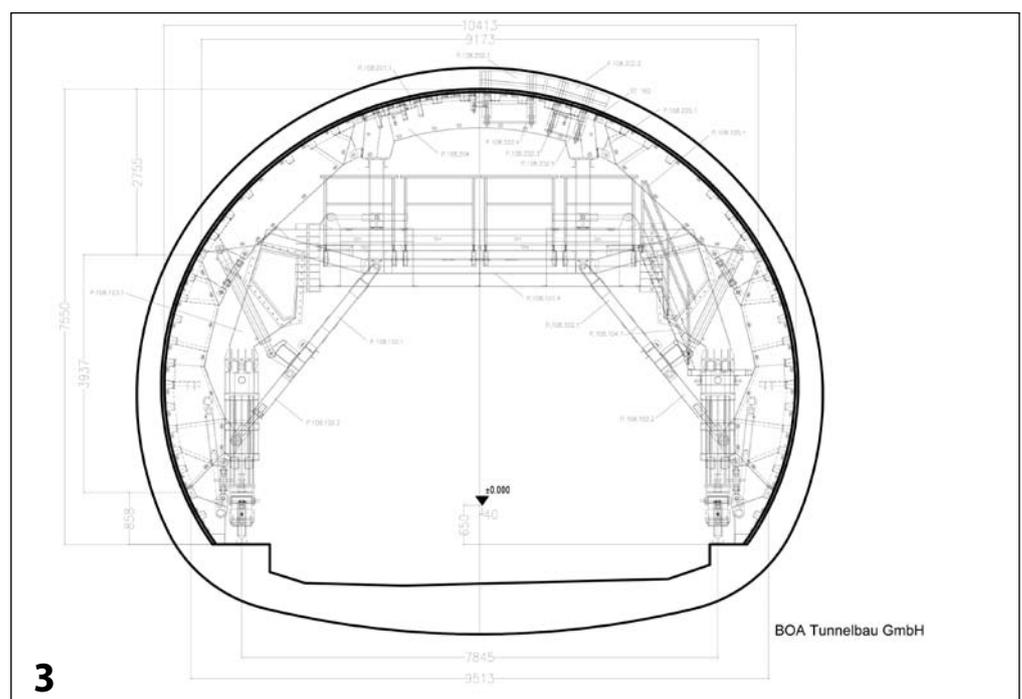
Beim Bauvorhaben, dem Ettendorfer Tunnel Traun-

oils and other fouling particles. Nano-sealing is, in principle, a refinement of the lotus effect.

A nano-sealant is based on an extremely smooth surface and enters a permanent chemical bond with it. Nanoparticles are less than 100 nm in size, and seal the surface by accumulating on it. The sealing effect results because other materials, such as water, dust, etc., are no longer able to accumulate on the surface, and therefore run off. Detachment of the nano-coating from porous surfaces is practically impossible, and is possible on smooth surfaces only with considerable mechanical effort. The end result is that a coating of this type is virtually ideal for severely fouled surfaces, such as that of a steel formwork facing. A number of materials now make it possible to produce coatings which possess not only hydrophobic but also oleophobic properties, i.e., both water and oils run off without difficulty on such coated surfaces (Figure 2).

More or less severe pore-formation on the concrete surface, with the consequence of increased overall porosity, occurs again and again in the creation of the vaulted inner lining of a tunnel. It is for practical purposes impossible, particularly in the negative bottom zone of the formwork, to expel the air trapped between the formwork facing and the concrete to the surface, and thus out of the concrete, by means of the energy of compaction applied. The formwork itself acts here like a seal. If the surface is coated in such a way as to reduce surface tension, however, the air inclusions can more easily escape upward during compaction of the concrete. The result is a significantly lower porosity in the finished concrete surface (Figure 3).

In the case of the Ettendorf Tunnel Traunstein project, BOA Tunnelbau GmbH decided, following discussions with various producers, and in co-ordination with Baresel GmbH, in favour



Tunnelquerschnitt mit Gewölbeschalwagen

Tunnel cross-section, showing arched-formwork carriage

stein, entschied sich die BOA Tunnelbau GmbH, nach Gesprächen mit verschiedenen Herstellern und in Abstimmung mit der Baresel GmbH für die Beschichtung mit einem Zweikomponentenlack auf Polysiloxan-Polyepoxid-Harzbasis, ein Produkt von AM Surface. Dieser Zweikomponentenlack ist resistent gegen Frost, Tausalze und Chemikalien und verfügt über eine hohe mechanische Beständigkeit. Dazu verfügt er über eine hervorragende Reinigungsfähigkeit und exzellente Haftung, auch auf mattfeuchtem Untergrund. Die Applikation erfolgt entweder mittels Rolle oder Airlessgeräten. Eine Nachbehandlung ist nicht erforderlich. Beim Ettendorfer Tunnel wurde der Untergrund aufwändig vorbereitet, sämtliche Unebenheiten abgeschliffen bzw. aufgespachtelt (Bild 4).

Nach mehr als 15 betonierten Gewölbblöcken ist die Beschichtung, trotz teilweise hoher mechanischer Belastung durch die Bewehrung, immer noch in einem sehr guten Zustand. Die Lunker sind oberhalb des Negativbereiches restlos verschwunden, im Negativbereich selber deutlich reduziert. Die Betonoberfläche weist



4
Schalung vor endgültiger Beschichtung
Formwork facing prior to final coating

eine homogene, gleichmäßige Struktur und Farbgebung auf.

Auch der Reinigungsaufwand nach einer Betonage hat sich zeitmäßig stark reduziert. Abschließend ist festzuhalten, dass die Entscheidung, die Stahlschalung mittels Nanotechnik zu beschichten für die Baustelle die richtige Entscheidung war. Die verbesserte Qualität des Betons an der Oberfläche sowie der geringere Reinigungsaufwand werden sicher dafür sorgen, dass zukünftig verstärkt mit Beschichtungen, basierend auf Nanotechnik, gearbeitet werden wird. 

of a coating consisting of a two-component („two-pack“) paint system on a polysiloxane-polyepoxide resin basis, an AM Surface product. This two-component paint system is resistant to frost, de-icing salts and chemicals, and also has high mechanical strength. It possesses, in addition, excellent cleanability and adhesion, even on matt-moist substrates. It can be applied either using rollers or airless systems. Curing is not necessary. The substrate in the Ettendorf Tunnel was carefully prepared, and all irregularities were either ground off or filled (Figure 4).

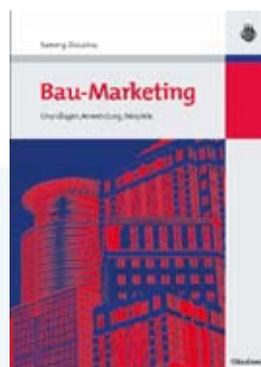
After completion of more than fifteen concreted roof elements, the coating remains in an extremely good condition, despite exposure in some cases to high mechanical loads caused by the reinforcement. Above the negative zone, porosity has disappeared completely, and has been significantly reduced in the negative zone itself. The concrete surface exhibits a homogenous and uniform structure and coloration.

The cleaning-time input following concreting has also been greatly reduced. We can ascertain, by way of conclusion, that the decision to coat the steel formwork using nano-technology was the best course of action for this project. The improved quality of the concrete at its surface, combined with the lower cleaning input, will ensure that coatings based on nano-technology will increasingly be used in the future. 

 **PROFIL**
BUCHHANDLUNG IM BAUVERLAG
fachbuchtip

Profil –
Buchhandlung im Bauverlag
Bauverlag BV GmbH
Avenwedder Str. 55
33311 Gütersloh
Tel.: +49 (0) 5241/80-88 957
Fax: +49 (0) 5241/80-60 16

profil@bauverlag.de
www.profil-buchhandlung.de



Bau-Marketing

Grundlagen, Anwendung, Beispiele
Sammy Ziouziou
2010 Oldenbourg Verlag
ISBN 978-3-486-59008-1
EUR 24,80

Bauunternehmen erwirtschaften heute einen wachsenden Anteil ihres Umsatzes durch baunahe Dienstleistungen. Sie generieren zudem einen hohen Anteil ihrer Gesamtbauleistungen außerhalb Deutschlands. Diese sukzessive Veränderung des Leistungsportfolios geht in den meisten Bauunternehmen mit einer wachsenden Bedeutung des Marketings einher.

Bestellen Sie online unter: www.profil-buchhandlung.de