

# Umfahrung Lungern: Spritzbetonapplikation auf Kunststoffdich- tungsbahn

Beim Bau der Umfahrung Lungern wurde im Gewölbebereich statt eines Innenringbetons Spritzbeton direkt auf die Abdichtungsfolie (KDB) aufgebracht. Der folgende Beitrag zeigt die Erfahrungen bei der Durchführung auf.

## 1 Überblick

In den Aufweitungen der Umfahrung Lungern/CH wurde, anstatt des Innenringbetons im Gewölbebereich, Spritzbeton direkt auf die Abdichtungsfolien aufgebracht. So ließen sich aufwändige Sonderschalungen vermeiden. Durch das Anbringen von engmaschigen Bewehrungsmatten auf die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) konnte der Rückprall stark reduziert werden. Die ganzen Arbeiten, vom Abdichtungsträger über die Installation der Abdichtung bis zum Innenausbau, erforderte von den Beteiligten großes Fachwissen.

## 2 Einleitung

Die Autostraße A8 verbindet die Innerschweiz (Luzern) mit dem Berner Oberland (Thun). Der Ausbau dieser Verbindung soll u.a. den Verkehr vor Naturgefahren (z.B. Steinschlag) schützen, die Reisezeit verkürzen und Dörfer entlang der Straße entlasten. Ein Teil dieser Strecke ist die Umfahrung Lungern, ein 4,25 km langes Bauwerk, das den Verkehr in den Berg verlagert. Der Tunnel selber hat eine

**Markus Jahn**, Sika Services AG, Zürich/CH

Länge von 3,57 km und wird im Gegenverkehr befahrbar sein. Zusätzlich sind zum parallel verlaufenden Sicherheitsstollen 4 Ausstellbuchten vorgesehen und vor dem südlichen Ende des Tunnels ist eine Aufweitung für einen späteren Anschluss an den Brünig-Scheiteltunnel konzipiert. Die voraussichtliche Eröffnung der Umfahrung ist 2012.

### 2.1 Ortbeton als Verkleidung

Nach dem Ausbruch im Sprengvortrieb erfolgte der zweischalige Ausbau mit Spritzbetonsicherung und tragender Innenschale. Mittels Kunststoffdichtungsbahnen wurde der Tunnel gegen nicht drückendes Bergwasser im Ableitkonzept abgedichtet. Die Nutzungsdauer ist für die Abdichtung und die Verkleidung auf 80 bis 100 Jahre festgelegt (Bild 1).

### 2.2 Spritzbeton als Verkleidung

In den 4 Ausstellbuchten, in der Aufweitung zum späteren Anschluss an den Scheiteltun-

# Lungern Bypass: Sprayed Concrete Application directly onto Polymer Waterproofing Membranes

In the tunnel widenings for the Lungern bypass sprayed concrete was applied directly onto the flexible polymer waterproofing-membrane (PWM) in the arch area instead of inner lining concrete. The following article shows the experiences by doing this.

## 1 Overview

In the tunnel widenings for the Lungern bypass/CH, sprayed concrete was applied directly onto the flexible polymer waterproofing-membrane (PWM) in the arch area instead of inner lining concrete. This new approach avoided costly special formwork. The amount of rebound was considerably reduced by first installing a fine steel mesh. The whole job from the primary sprayed concrete sealing, through installation of the waterproofing to the inner poured or sprayed concrete linings demanded great expertise from all those involved.

## 2 Introduction

The A8 motorway links central Switzerland (Lucerne area) with the Bernese Oberland (region of Thun). The completion of this link is intended to protect traffic from natural hazards (e.g. rock falls), shorten journey times and relieve traffic pressure on the villages along the road. Part of this section is the Lungern bypass, a 4.25 km long structure which will move traffic into and through

the mountain. The tunnel itself is 3.57 km long and will take two-way traffic. Linked to the main tunnel is parallel a safety tunnel. In the main tunnel are also 4 service bays, and at the southern end of the tunnel a widening has been designed and prepared for a later connection to the Brünig summit tunnel. The bypass is scheduled to open in 2012.

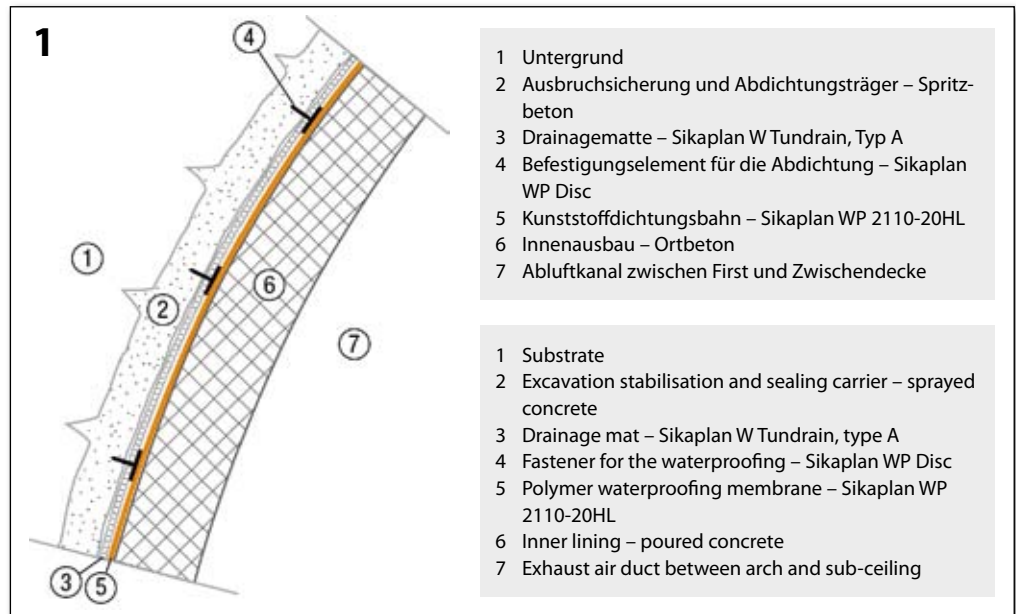
### 2.1 Concrete for lining

Following drill and blast excavation, the double-layer lining was formed by sprayed concrete support and a load-bearing inner shell. The tunnel is sealed against water ingress by polymer waterproofing membranes. The design life for the waterproofing system and the concrete lining is 80 to 100 years (Fig. 1).

### 2.2 Sprayed concrete for lining

In the 4 service bays, the bore for later connection to the summit tunnel and the cross cuts to the safety tunnel, the arch was not lined with concrete as in the standard profile, but was formed with sprayed concrete. However, in the whole tunnel the walls are

nel und in den Querschlägen zum Sicherheitsstollen wurde das Gewölbe (tragende Betoninnenringkonstruktion) nicht wie im Normalprofil mit Ortbeton ausgebaut, sondern mit Spritzbeton hergestellt. Für die Wände hingegen wurde über die gesamte Tunnellänge Ortbeton eingesetzt. Dies brachte auf der einen Seite eine Kosteneinsparung durch den Verzicht von Sonderschalungen für das Gewölbe, andererseits musste auf Unternehmenseite ein großes Fachwissen mitgebracht werden, um diese Arbeiten fachmännisch durchführen zu können. Zum Einen waren Durchdringungen (Befestigungsanker für die Bewehrung) anzubringen und abdichten und zum Anderen geeignete Vorkehrungen zu treffen, um



Regel-Aufbau des Dichtungssystems im aufgehenden Gewölbe (nicht maßstäblich)

Standard structure of tunnel sealing system in rising arch (not to scale)

den Rückprall zu minimieren. Nach [1] ist die Gewölbeverkleidung im Normalprofil un-

made of poured concrete. On the one hand, this gives a considerable cost saving due to avoiding

costly special formwork, but on the other hand, great expertise is required from the contractor to



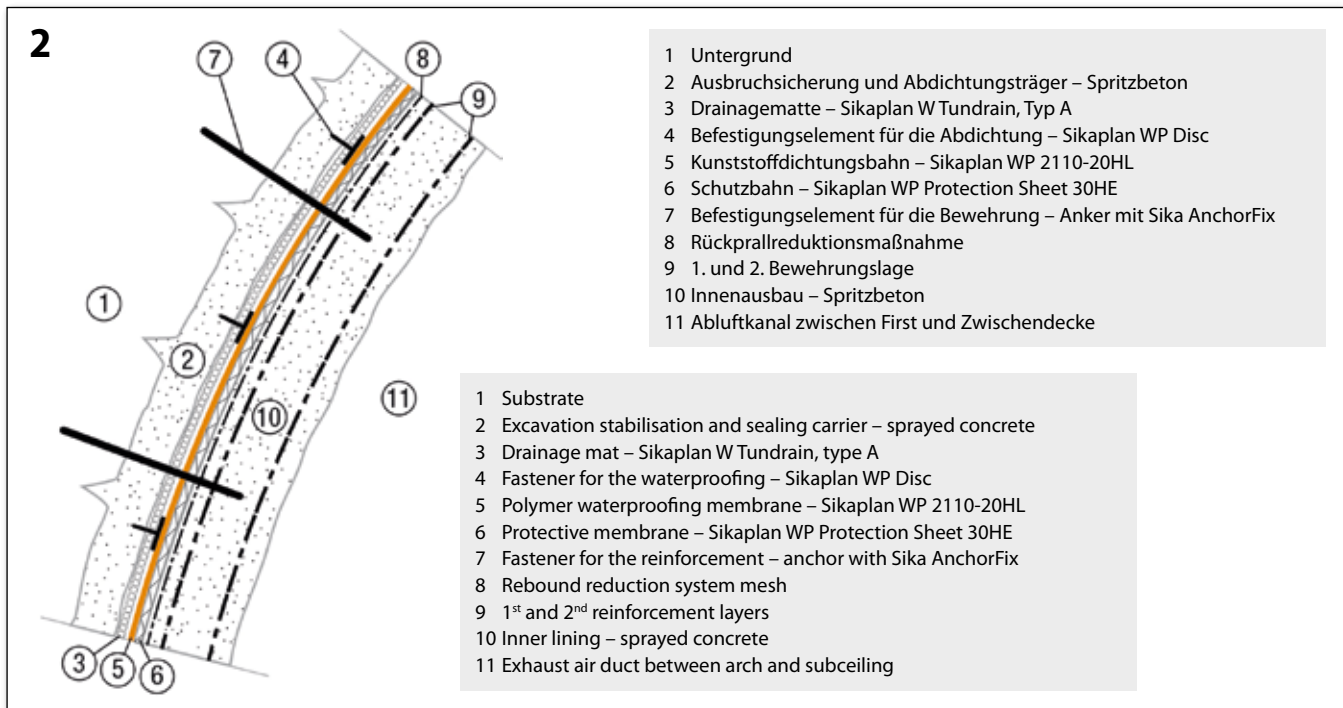
**Wir können es besser. Und wirtschaftlicher.**



Rowa vereint hohe Kompetenz im Anlagenbau und langjährige Erfahrung im Untertagebau. Intelligente Gesamtlösungen vom Vortrieb bis zur Deponie sind unser Markenzeichen: Sie garantieren eine überdurchschnittliche Betriebssicherheit und eine hohe Wirtschaftlichkeit.

**Wir können es besser – weltweit. Das Vertrauen unserer Kunden beweist es.**

Rowa Tunnelling Logistics AG, Leuholz 15, CH-8855 Wangen SZ  
Telefon +41 (0)55 450 20 30, Fax +41 (0)55 450 20 35  
rowa@rowa-ag.ch, www.rowa-ag.ch



Aufbau des Dichtungssystems im aufgehenden Gewölbe bei Aufweitungen (nicht maßstäblich)

Structure of sealing system in rising arch at widenings (not to scale)

bewehrt, jedoch in den Ausstellnischen ist das Gewölbe zu bewehren (Bild 2).

### 3 Systemaufbau

#### 3.1 Schichtaufbau der Ausbruchsicherung

Nach dem Ausbruch wurde der Brustbereich mit Spritzbeton gesichert und zusätzlich im Kalottenbereich mit 5 m langen Reibrohrankern gefestigt. Der weitere Ausbau der Ausbruchsicherung erfolgte im Vortriebsbereich mit 2 Netzlagen und Spritzbeton. Als Abdichtungsträger diente am Schluss eine 3 cm Spritzbetonlage [1, 2].

#### 3.2 Abdichtungsträger

Der Abdichtungsträger ist Systembestandteil der Abdichtung. Für das nachhaltige Gelingen einer dauerhaften Abdichtung werden an diesen hohe Anforderungen gestellt. So soll er rau und unebene Flächen des Untergrundes ausgleichen, um ein faltenfreies und unter-

grundnahes Verlegen der Abdichtung zu ermöglichen. Ziel ist ein spannungsarmer Einbau der Kunststoffdichtungsbahn. Zur Qualitätssicherung werden in den Normen Mindestradius der Ausrundungen, zulässige Unebenheiten und Maximal Korn des Spritzbetons vorgeschrieben. Zudem sollen Zuschlagstoffe nur in Form von

do the job professionally. This is because all of the penetrations must be formed and sealed and at the same time suitable precautions must be taken to minimise the potentially high rebound. Accordingly [1], the arch lining is not reinforced in the standard design profile, but the arch had to be reinforced in the service bays (Fig. 2).

### 3 System structure

#### 3.1 Layer structure of excavation stabilisation

Following excavation the face area was supported with sprayed concrete and additionally this was consolidated in the top heading area by 5 m long friction bolts. Further lining of the excavation stabilisation was then carried out in the heading area with 2 layers of steel mesh reinforcement and sprayed concrete. Finally, 3 cm of sprayed concrete was applied to form the sealing carrier layer for the membrane waterproofing system [1, 2].

#### 3.2 Sealing carrier

The sealing carrier layer is a necessary component of the waterproofing system. To achieve a reliable and durable seal, it has to meet high demands. It has to level the rough and uneven substrate surfaces in order to enable the waterproofing membranes to be laid without creases and tight to the substrate. The aim is



Abdichtungsträger im Bereich der Aufweitung

Sealing carrier layer around the widening



Edelsplitt verwendet werden und die Oberfläche muss frei von hervorstehenden Teilen sein. Ansonsten sind solche Teile mit mindestens 30 mm zu überspritzen [3, 4] (Bild 3).

Die Anforderungen an den Spritzbeton als Abdichtungsträger für dieses Projekt sind gemäß SN 564 272 [3] und Ausschreibung [1]:

1. Keine Stahlfasern an der Oberfläche [3]
2. Mindestradius 0,2 m [3]
3. Verhältnis Bossenabstand zu Bossentiefe  $\geq 10:1$  [3, 1]
4. Schichtdicke des Spritzbetons  $\geq 50$  mm nach [3], wobei nach [1] eine mittlere Dicke von 30 mm vorgeschrieben ist
5. Rautiefe 0 bis 8 mm [1]
6. Spritzbetonklasse SC 2 [1]

### 3.3 Drainierung

Der Spritzbeton der Ausbruchssicherung kann das Bergwasser so verändern, dass Sinter auftritt. Darum ist ein genügend großer Ableitquerschnitt zu bemessen und zementgebundene Drainageschichten

sind zu meiden. Nur bei einer einwandfrei funktionierender Drainage ist sichergestellt, dass kein Wasserdruck auf das Bauwerk einwirkt [3].

Das eingesetzte Sikaplan W Tundrain, Typ A ist eine leistungsfähige Drainagebahn für den Tunnel- und Untertagebau. Das netzartige Geflecht hat eine Dicke von 5 mm und ist aus geschäumtem Polyethylen. Es leitet das Bergwasser druckfrei zwischen dem Abdichtungsträger und der Dichtungsbahn in die Tunnelentwässerung ab. Die Drainagebahn ist einfach zu montieren und passt sich gut dem Untergrund an. Zudem dient sie der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) als Schutz gegen Verletzungen durch den Untergrund. Sikaplan W Tundrain wird punktweise mit Stahlbolzen und Kunststofffrondellen (PVC) an den Abdichtungsträger befestigt. Auf den Kunststofffrondellen kann anschließend die Abdichtungsbahn durch Schweißen fixiert werden [8].

low-stress installation of the polymer waterproofing membrane. For quality control, standards specify the minimum radius of the filleting, permissible unevenness and maximum particle (aggregate) size. The aggregates used must be double crushed chippings and the surface must be free from protrusions. Otherwise the areas must be over-sprayed again to a minimum depth of 30 mm [3, 4] (Fig. 3).

The requirements for the sprayed concrete to form a sealing carrier layer for this project according to SN 564 272 [3] and the specifications were [1]:

1. No steel fibres on the surface [3]
2. Minimum radius 0.2 m [3]
3. Boss spacing to depth ratio  $\geq 10:1$  [3, 1]
4. Sprayed concrete layer thickness  $\geq 50$  mm according to [3], but an average thickness of 30 mm being specified in [1]
5. Surface roughness 0 to 8 mm [1]
6. Sprayed concrete class SC 2 [1]

### 3.3 Drainage

The sprayed concrete for the excavation stabilisation can chan-

ge the mountain water so that sintering occurs. Therefore an adequate size of drainage cross-section has to be designed and cement-based drainage layers must be avoided. Only a fully functional drainage system can guarantee that water pressure does not impact on the structure [3].

The Sikaplan W Tundrain, type A was used, which is an efficient drainage membrane for tunnels and other underground structures. The mesh is 5 mm thick and is made of foamed polyethylene. It drains the mountain water under no pressure between the sealing carrier layer and the waterproofing membrane, into the tunnel drainage system. This drainage membrane is easy to install and adapts easily to the substrate. It also acts as protection for the polymer waterproofing membrane against damage from the substrate. Sikaplan W Tundrain is spot fixed to the sealing carrier layer with steel bolts and plastic fixing discs (PVC) [8].



**Beschichtung**



**Instandsetzung**



**Brandschutz**



## Tunnelarbeiten

**Reinigung**



### 3.4 Abdichtung

Bei Untertagebauten wird eine lange Nutzungsdauer angestrebt, da der Aufwand für Planung und Ausführung groß ist. Des Weiteren wird versucht den Instandhaltungsaufwand gering zu halten. Eine wichtige Voraussetzung um diese Bedingungen erfüllen zu können, ist das Fernhalten von Bergwasser vom Bauwerk. Die Abdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen werden bei bergmännischen Bauwerken zwischen der bergseitigen Spritzbetonausbruchsicherung und der tragenden Innenschale platziert. Wasserdruck und chemische Zusammensetzung des Bergwassers (Betonangriff) bestimmen die Ausbildung des Dichtungssystems.

Zwei Arten der Abdichtung, die Regenschirm- und Rundumabdichtung [4], werden angewandt:

1. Die Regenschirmabdichtung ist ein Ableitkonzept. Sie dichtet das Bauwerk gegen drucklos zufließendes Bergwasser im Bereich des Gewölbes ab. Die Kunststoffdichtungsbahn endet im Bereich der Ulmenentwässerung. Das Bergwasser wird mittels Drainage- und Entwässerungselementen gefasst und abgeleitet [3, 4]
2. Die Rundumabdichtung ist ein Verdrängungskonzept. Das anfallende Bergwasser wird nicht abgeleitet, sondern das Bauwerk wird gesamthaft abgedichtet [3, 4]

Die geforderte Trockenheit im Bauwerk wird mittels Dichtigkeitsklassen festgelegt. Die Dichtigkeitsklasse für Tunnel ist '1', was 'vollständig trocken' bedeutet. An der Tunnelverklei-

dung sind somit keine Feuchtestellen zugelassen [3].

Die Abdichtung im Tunnel der Umfahrung Lungern ist nach dem Ableitprinzip konzipiert. Das Wasser wird drucklos über eine Drainage und Entwässerungselemente abgeführt. Das Abdichtungssystem besteht aus einer flächigen Drainage und einer lose verlegten Kunststoffdichtungsbahn mit 2 mm Schichtdicke. Die Dichtungsbahn wird punktuell an den Untergrund befestigt. Die Mindestanzahl der Befestigungspunkte ist nach [5] für die Sohle 1, für die Ulmen 2 und die Firste 3 Stück/m<sup>2</sup>. Bei diesen Befestigungen

### 3.4 Waterproofing

A long service life should always be the aim for underground structures because the cost of their design and construction is high. The objective is also to try to keep maintenance costs low. A major requirement for these conditions to be met, is keeping mountain water away from the structure. In conventionally driven tunnel structures, the polymer waterproofing membranes are positioned between the sprayed concrete excavation stabilisation on the mountain side and the load-bearing concrete inner shell. The water pressure and the chemical composition of the mountain water (usually

aggressive to concrete) determine the design of the sealing system.

Two types of waterproofing, a drainage and a water-stopping system [4], are used:

1. The drainage system is a discharge concept. It seals the structure against unpressurised mountain water flowing around the arch. The polymer waterproofing membrane ends in the benched drainage area. The water is collected and discharged by the tunnel drainage and dewatering components [3, 4].
2. The water-stopping system is a displacement concept. The mountain water is not discharged, but kept out, so the structure as a whole is waterproofed [3, 4].

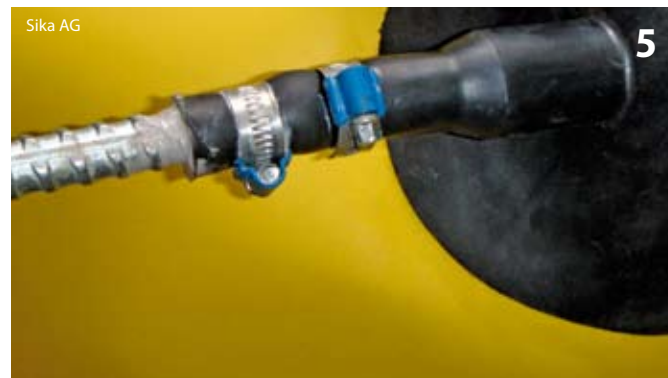
The required dryness in the structure is defined by watertightness classes. The classes for tunnels are '1' or '2', which means 'completely dry'. Therefore damp patches in the concrete are not permitted on the tunnel lining [3].

The tunnel construction of the Lungern bypass tunnel is designed to the discharge concept. This means that the system is a loosely laid polymer waterproofing membrane with a layer thickness  $\geq 2$  mm. The membrane is spot fixed to the sprayed concrete stabilised substrate. According to [5], the minimum number of fixing points per m<sup>2</sup> is 1 for the invert, 2 for the benches and 3 for the arches. The fasteners are steel bolts with plastic discs at their head. The bolts can be driven into the sealing carrier layer and the waterproofing is then hot air welded to the plastic discs. To enable damage due to installation or subsequent works to be detected and repaired, the



Die Drainagematte ist an den Abdichtungsträger mit Rondellen (PVC) befestigt (links). Die Abdichtungsbahn (bergseitig schwarz, luftseitig signalgelb) wird danach an den Rondellen angeschweißt

The drainage mat is fixed to the sealing carrier layer through fixing PVC discs (left). The waterproofing membrane (black on the mountain side, signal yellow on the air side) is then welded to the discs



Wasserdichter Abschluss der Durchdringung mittels Flansch (Sikaplan Trumpet)

Waterproof connection from penetration to membrane by using of flange (Sikaplan Trumpet)

handelt es sich um Kunststofffrondelle, die mittels Stahlbolzen im Untergrund verankert werden. Mit Treibladungen lassen sich die Stahlbolzen in den Abdichtungsträger schießen und mit Heißluft wird die Abdichtung anschließend an die Kunststofffrondelle angeschweißt. Um Beschädigungen durch das Verlegen oder durch nachfolgende Arbeiten zu erkennen, muss die Dichtungsbahn auf der Tunnelinnenseite mit einer dünnen Signalschicht ausgestattet sein. Bei einer Verletzung der Abdichtung ist die dunkle Unterschicht durch den starken Kontrast sichtbar und die beschädigte Stelle kann repariert werden [3, 5] (Bild 4).

Die verwendete Kunststoffdichtungsbahn Sikaplan WP 2110-20HL ist aus Weich-Polyvinylchlorid. Die homogene, selbstverlöschende und 2 mm dicke Abdichtung besitzt eine gelbe Signalschicht, um Verletzungen erkennbar zu machen. Diese Art von Kunststoffdichtungsbahn zeichnet sich durch die einfache Fügetechnik mittels Heißluft aus. Sie ist zudem hoch flexibel und gleichzeitig widerstandsfähig gegen eine mechanische Beanspruchung [7].

Die Dichtungssysteme sind nach dem Innenausbau des Tunnels schwierig zu reparieren, da sie nicht mehr zugänglich sind. Darum ist während des ganzen Installationsprozesses vom Abdichtungsträger bis zum Einbringen der Innenschale größte Sorgfalt geboten. Wegen der hohen Anforderungen sind für den Einbau auch nur qualifizierte Abdichtungsunternehmen mit entsprechenden Referenzen zugelassen. Weiter dürfen Unterkonstruktion und Schutzschicht die Dichtungsschicht nicht unzulässig verformen und der Innenring muss so betoniert sein, dass die Dichtungsbahn satt am Tragwerk anliegt [3, 4].

### 3.5 Durchdringungen

Die in den Ausstellbuchten vorgeschriebene Bewehrung und das Rückprallgitter sind an Befestigungselementen in Form von Anker zu fixieren. Diese mit Epoxidharz in den Untergrund befestigten Anker werden erst nach dem Anbringen der Abdichtungsbahn installiert und gelten somit als Durchdringungen. Sie dürfen nach [5] die Wirksamkeit der Abdichtung nicht vermindern. Als Übergangsstück von der Kunststoff-

membrane must also be coated on the inside of the tunnel with a signal colour [3, 5] (Fig. 4).

The Sikaplan WP 2110-20HL polymer waterproofing membrane used is made from flexible PVC. The homogeneous, self-extinguishing in fire, 2 mm thick sealing membrane has a yellow signal colour to make any damage detectable. This type of membrane can be simply welded to each other by hot air welding system. It is also highly flexible and yet resistant to mechanical stress [7].

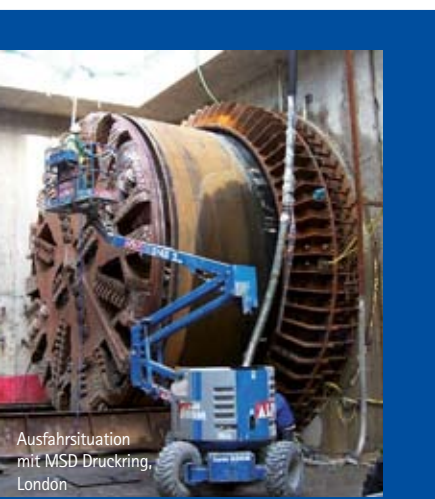
Sealing systems are very difficult to repair after the inner lining of the tunnel is completed, because they are no longer accessible. Consequently extreme care is required throughout the installation process from the sealing carrier layer to placing and finishing of the inner concrete shell. Due to these stringent requirements, only qualified specialist contractors with suitable training and references are allowed to carry out this type of installation. The substructure and protective layers must not unduly deform the waterproofing layer and the inner lining must be concreted in such a way that the waterproofing membrane fits tightly on to the structure [3, 4].

### 3.5 Penetrations

The reinforcement specified in the service bays and the anti-rebound mesh are both fixed to fastening anchors. These are fixed into the substrate with epoxy resin based adhesives and are not installed until after the waterproofing membrane is in position and therefore they represent penetrations. Accordingly [5], they must not reduce the efficiency of the waterproofing and so flanges have to be fitted from the polymer membrane over the anchors and welded to the membrane. The other end of the flange has a watertight connection to the penetrating component by two rustproof clamps and polyurethane-based sealant (Fig. 5) [8].

### 3.6 Protective layers

The protective layers protect the polymer waterproofing membranes from mechanical damage. For waterproofing in underground construction where the concrete inner arch is not reinforced, protective layers are not necessary except around the stopend formwork. But if additional reinforcement is specified, the membrane must always be protected by a protective layer [3, 5].



Ausfahrsituation mit MSD Druckring, London

Maschinen  
Stahlbau



Dresden  
Niederlassung der Herrenknecht AG

Der Spezialist für Ihren

Tunnelausbau  
und Rolling Stock

Besuchen Sie uns für  
weitere Lösungen unter  
[www.msd-dresden.de](http://www.msd-dresden.de)



MSD Rolling Stock, Palomino



dichtungsbahn an die Anker sind Flanschen anzubringen, welche an die Dichtungsbahn angeschweißt werden. Mit 2 rostfreien Schlauchbriden und Dichtstoff auf Polyurethanbasis wird der Flansch am anderen Ende wasserdicht an das Durchdringungselement angeschlossen (Bild 5) [8].

### 3.6 Schutzschichten

Schutzschichten schützen Kunststoffdichtungsbahnen vor mechanischer Verletzung. Für Abdichtungen im Untertagebau, wo das Betoninnengewölbe nicht bewehrt wird, werden normalerweise keine Schutzschichten eingesetzt außer im Bereich der Stirnabschalung. Ist aber Bewehrung vorgesehen, so ist die Kunststoffdichtungsbahn mittels einer Schutzschicht zu schützen. Diese hat eine Mindestdicke von 3 mm aufzuweisen und muss materialverträglich an die Kunststoffdichtungsbahn anschweißbar sein [3, 5].

Die hier eingesetzte Sikaplan WP Protection Sheet 30HE ist eine 3,0 mm dicke, homogene Kunststoffschutzbahn mit einer geprägten Oberfläche auf Basis von Polyvinylchlorid (PVC). Diese Schutzbahn ist sehr robust gegen äußere Einflüsse und schützt die Kunststoffdichtungsbahn unter anderem vor Verletzungen durch die Montagearbeiten vom Bewehrungsstahl und durch die Spritzbetonapplikation. Zur Fixierung ist die Schutzbahn punktuell an die Dichtungsbahn angeschweißt [7, 8].

### 3.7 Fugenbänder als Injektionsbarrieren

Wie bei einer Innenschale aus Ortbeton können auch beim Ausbau mit Spritzbeton



Schutzbahn (grau) mit Abschottelementen (gelb) und mit Ankern fixierte Rückprallreduktion (Gitter)

Protective sheet (grey) with compartmentalisation sections (yellow) and the rebound reduction (mesh) fixed with anchors

Hohlstellen auftreten. Diese sind nicht mit dem Firstspalt beim Ortbeton vergleichbar, aber sie entstehen, wenn der Spritzbeton des Gewölbes kriecht. Aus diesem Grund wurden im Tunnel Lungern in den Bereichen mit Spritzbetongewölbe Maßnahmen getroffen, um Hohlräume infolge Setzungen der Spritzbetonschale nachträglich verpressen zu können. Dazu sind direkt auf die Schutzbahn injizierbare Fugenbänder angebracht. Diese Fugenbänder (Bild 6) bewirken nach der Injektion, dass geschlossene Felder entstehen, die im Anschluss verpresst werden.

### 3.8 Innenausbau

Zur Rückprallverminderung wurden engmaschige Drahtgitter mit geringem Abstand zur Schutzbahn an den Ankern montiert. Das Einspritzen erfolgte im Raster. Zuerst wurden die Bereiche um die Anker mit Spritzbeton fixiert und danach zu einem Raster miteinander verbunden (Bild 7). Damit vermied man, dass

### 3.8 Inner lining with sprayed concrete

To reduce rebound, close wire meshes are installed on the anchors with a low clearance from the protective membrane. The application is carried out in a grid. The points at the anchors are first secured with sprayed concrete, and then these securing points are joined to form a grid (Fig. 7). This prevents the rebound mesh "flapping" and freshly applied sprayed concrete becoming detached. Finally the compartments formed between the grids can be filled to form a full surface layer of sprayed concrete. At the anchors the first reinforcement layer is then fixed together with a spacer for the second layer, which is fixed in turn to the spacers after overspraying of the first layer. The 2nd reinforcement layer then has to be covered with sprayed concrete and the surface has to be correctly levelled.



Rasterweises Einspritzen der Rückprallreduktionsmaßnahme

Grid spraying of the rebound reduction system

### 3.9 Sprayed concrete

The sprayed concrete is applied by the dense-flow wet process using a Sika-PM 500 machine. This double piston concrete pump with an automatic spraying arm has a vertical spaying reach of 17 m. The sprayed concrete had to meet the project specifications and SN 531 198 [6, 1] (Table 1, 2).

The Sikaplan WP Protection Sheet 30HE used here is a 3.0 mm thick, homogeneous, PVC based protective polymer sheet with a moulded finish. The sheet is very resistant to external influences and protects the membrane from damage caused by installation of the steel reinforcement, application of the sprayed concrete etc. The protective sheet is spot welded to the waterproofing membrane [7, 8].

### 3.7 Waterbars as injection barriers

As with inner lining concrete, voids can also occur when lining with sprayed concrete. They cannot be compared with the arch gap, but they can be caused if the sprayed concrete on the arch creeps. For this reason measures were taken in the parts of the Lungern tunnel with a sprayed concrete arch to allow for post-grouting after settlement of the sprayed concrete shell. Injectable waterbars were therefore installed directly on the protective membrane. Once injected, these waterbars (Fig. 6) cause closed "compartments" to be produced which are then grouted.

das Rückprallgitter flatterte und sich frisch aufgetragener Spritzbeton wieder lösen konnte. Am Schluss wurden die Felder zwischen dem Raster zu einer vollflächigen Spritzbetonlage ausgefüllt. Hierauf erfolgte, auch an die Anker, die Befestigung der ersten Bewehrungslage mit der Abstandhalterung für die zweite Bewehrungslage. Diese wurde wiederum nach dem Einspritzen der ersten Lage an den Abstandhaltern befestigt. Im Anschluss war die 2. Bewehrungslage mit Spritzbeton einzukleiden und die Spritzbetonoberfläche in genügender Ebenheit zu erstellen.

### 3.9 Spritzbeton

Der Spritzbeton wurde im Nassspritzverfahren mittels einer Sika-PM 500 aufgetragen. Diese Beton-Doppelkolbenpumpe ist mit einem automatischen Spritzarm ausgerüstet und hat eine Reichweite von 17 m. Der Spritzbeton hatte die Anforderungen der SN 531 198 [6] und der Ausschreibung [1] zu erfüllen (Tabelle 1, 2).

### 4 Weitere Projekte dieser Art

- Umfahrung Zürich, Hafnerberg/Schweiz, 2002
- Variante Vespuccio El Salto-Kennedy/Chile, 2000
- Tunnel Brisbane/Australien, 2010
- Rettungsstollen Fiecht/Österreich, 2010

### 5 Fazit

Der Ersatz von Innenringortbeton durch Spritzbeton kann als Erfolg betrachtet werden. Die aufwändigen Spezialschalungen konnten vermieden werden und die Bauwerksqualität ist einer Innenringschale aus Ortbeton ebenbürtig, wie es

Anwendung / Application	Spritzbetonklasse / Sprayed concrete class	Druckfestigkeitsklasse / Compressive strength class	Expositionsklasse / Exposure class
Sofortsicherung / Initial support	SC 2	C25/30	X0
Ausbruchsicherung / Excavation stabilisation	SC 3	C25/30	XA1, XD1
Abdichtungsträger / Sealing carrier layer	SC 2	C25/30	X0
Auskleidung / Inner lining	SC 4	C30/37	XA1, XD1


Tabelle 1: Spritzbetonklassen für die verschiedenen Anwendungen

Table 1: Sprayed concrete classes for the different applications

Bestandteil / Component	Einheit / Unit	Menge / Quantity	Art / Type
Zement / Cement	[kg]	400	CEM II A-LL
Wasser/Zement / Water/cement	[]	0.48	
Größtkorn des Zuschlages / Maximum aggregate particle size	[mm]	8	
Fließmittel / Water reducer	[%]	1	SikaTard-203
Beschleuniger / Accelerator	[%]	6	Sigunit-L53 AFS

Tabelle 2: Rezeptur für alle Spritzbetonklassen

Table 2: Formulation for all sprayed concrete classes


Projekte aus der Vergangenheit gezeigt haben (Abschnitt 4). Zum aktuellen Zeitpunkt lässt sich für das Projekt Lungern noch keine Aussage machen, ob sich der Aufwand auch finanziell gelohnt hat. Dies wird erst die Nachkalkulation weisen. Die Erfahrungswerte aus vorhergehenden Projekten zeigen jedoch diesbezüglich ein positives Bild. 

### 4 Other recent projects of this type

- Zurich bypass, Hafnerberg, tunnel bore area, Switzerland, 2002
- Bypass, Vespuccio El Salto-Kennedy, Chile, 2000
- Tunnel, Brisbane Australia, 2010
- Rescue tunnel, Fiecht Austria, 2010

### 5 Conclusions

The replacement of inner lining concrete by sprayed concrete

can be seen as a success. The costly special formwork is avoided and the construction quality is comparable with an inner lining of concrete, as other recent projects have also shown (chapter 4). On the Lungern project, it is not yet possible to say if this alternative method has been financially worthwhile. This has to be calculated after the project finishing. However, the figures from the previous projects completed with this method all paint a positive picture. 

#### Literatur/References

- [1] IG N8 Umfahrung Lungern: Ausschreibung und Angebot Nr. 2 – N8 Umfahrung Lungern HAUPTTUNNEL SPV. 2005
- [2] IG N8 Umfahrung Lungern: Ausschreibungsunterlagen – Teil 3A: Technische Spezifikation Sprengvortrieb. 2005
- [3] SN 564 272: Abdichtung und Entwässerung von Bauten unter Terrain und im Untergrund. 2009
- [4] EAG-EDT: Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau. 2005
- [5] BAST ZTV-ING: Teil 5: Tunnelbau – Abschnitt 5: Abdichtung. 2007
- [6] SN 531 198: Untertagebau – Ausführung. 2004
- [7] Lemke S: Worldwide specifications for membranes and joints – state of the art. 2009
- [8] Sika Schweiz AG: Flexible Waterproofing of Tunnels with Sikaplan Membranes. 2010