

www.tunnel-online.info

tunnel

2

April

Offizielles Organ der STUVA · Official Journal of the STUVA

2015

Tunnel Strengthening, Stadtbahn Gelsenkirchen | 18

Long Distance TBM Design | 28

Waterproofing Systems with Membranes | 38



bau || || verlag

Wir geben Ideen Raum

tunnel 2/15

Offizielles Organ der **STUVA**
www.stuva.de



Tunnelertüchtigung gegen Einwirkungen aus Abgrabungen für den Abwasserkanal Emscher: Einbau zusätzlicher Aussteifungen im Stadtbahntunnel Gelsenkirchen

Tunnel strengthening against the effects of excavation for the Emscher main interceptor infrastructure project: Installation of additional reinforcements in the tunnels of the urban transit system Gelsenkirchen

Quelle/credit: Zerna Planen und Prüfen

Title

Der Tunneldumper 5025 im Einsatz auf der U3 U-Bahn-Baustelle in Nürnberg

A Dumper 5025 at the U3 underground railway construction site in Nuremberg

Quelle/credit: Bergmann Maschinenbau

Nachrichten / News

2

Hauptbeiträge / Main Articles

**Waterview Connection Tunnels Auckland:
TBM Design and Tunnelling Experiences**

12

Dr. Karin Böppler

**Tunnelertüchtigung gegen Einwirkungen aus Abgrabungen
Tunnel Strengthening against the Effects of Excavating**

18

Dr.-Ing. Ludger Speier, Dipl.-Ing. Thorsten Dahmann

**Marathon-Vortriebe: Langstrecken-TVM-Konzepte
Marathon Machines: Long Distance TBM Design**

28

Desiree Willis, Brian Khalighi

**Abdichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen
Waterproofing Systems with Membranes**

38

Dipl.-Ing. Marc Meissner, Dipl.-Ing. Sebastian Schwaiger, Dipl.-Ing. Roland Herr

World Tunnel Congress 2015

Firmen und Produkte

50

Companies and Products

Vortriebstechnik / Driving Technology

Lake Mead: Maschineller Tunnelvortrieb unter Hochdruck

58

Lake Mead: Mechanized Tunnelling under high Pressure

Ausbau / Lining

U12 Stuttgart: Verlegung des Stadtbahntunnels Heilbronner Straße

62

U 12 Stuttgart: Diversion of the „Stadtbahn Tunnel“ in the Heilbronner Straße

Abwassernetz Abu Dhabi: Tübbinge aus sulfatresistentem Stahlfaserbeton

64

Sewer Network Abu Dhabi: Segments of Sulphate-resisting Steel Fibre Concrete

Buchbesprechung / Book Review

Brandeinsätze in Straßentunneln

66

Combatting Fires in Road Tunnels

Produkte / Products

Verkehrsüberwachung in Marseilles Prado-Tunneln

70

Traffic Monitoring in the Prado Tunnels of Marseille

Informationen / Information

Veranstaltungen / Events

71

Inserentenverzeichnis / Advertising List

72

Impressum / Imprint

72

Abdichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen

Um eine konzipierte Tunnel-Lebensdauer von 100 Jahren zu überstehen, muss unter anderem das Eindringen von Bergwasser in den Verkehrsraum eines Tunnels verhindert und die tragende Konstruktion vor Bergwasser geschützt werden. Wie das mit Abdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) bei druckdichten bergmännisch hergestellten Tunnelbauwerken funktioniert, veranschaulicht dieser Beitrag.

Waterproofing Systems with Membranes

In order to arrive at a projected service life of 100 years, among other things underground water must be prevented from entering a tunnel's traffic area and the bearing structure must be protected from underground water. This report explains how this is achieved with waterproofing systems consisting of waterproofing membranes in the case of pressure-tight mined tunnel structures.

Dipl.-Ing. Marc Meissner, M.B.C., Arbeitskreis Tunnelabdichtung e.V./Association for Tunnel Waterproofing, Bückeberg/Germany

Dipl.-Ing. Sebastian Schwaiger, Müller+Hereth, Ingenieurbüro für Tunnel- und Felsbau GmbH, Freilassing/Germany

Dipl.-Ing. Roland Herr, Internationaler Freier Journalist und Autor/International freelance journalist and author, Bielefeld/Germany

1 Das Abdichtungssystem

Die Abdichtungskonstruktion übernimmt drei wichtige Funktionen im Tunnel:

- Sie trennt die spätere Tragkonstruktion von der Vortriebsicherung, um Zwängungsspannungen zu vermeiden
- Sie schützt die Innenschale vor möglichen aggressiven Bergwässern
- Sie schützt den Verkehrsraum vor Bergwasser

Ein Tunnel kann entweder rundum abgedichtet werden durch eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) (**Bild 1**) oder von vornherein als wasserundurchlässige Betonkonstruktion konzipiert sein. Die wichtigsten Abdichtungssysteme für die geschlossene Bauweise sind in **Tabelle 1** aufgeführt.



1 Abdichtung eines Tunnels ohne Drainage mit Kunststoffdichtungsbahn (KDB)

Waterproofing in a tunnel without drainage with tunnel waterproofing membrane

1 The Waterproofing System

The waterproofing system in tunnels caters for three important functions:

- It separates the subsequent bearing structure from the excavation support in order to avoid constraining forces
- It protects the inner shell from possible aggressive underground water
- It protects the traffic area from underground water

A tunnel can either be sealed all-around with a waterproofing membrane (**Fig. 1**) or devised as a water impermeable concrete structure from the very outset. **Table 1** contains a list of the most important waterproofing systems for the closed construction method.

The proper sealing system depends on the following factors:



2 Im Sohlbereich eingebaute KDB mit außenliegendem Fugenband (schwarz)

Tunnel waterproofing membrane installed in floor area with external waterstop (black)



3 Mechanisch verfestigter Vliesstoff als bergseitiges Schutzgeotextil gegen den rauen Spritzbeton

Mechanically attached fabric as protective geotextile at the slope side against the rough shotcrete

Welches Abdichtungssystem nun das Richtige ist, hängt ab von

- den Auflagen des Umweltschutzes,
- der chemischen Beschaffenheit des Bergwassers, Hydrologie und Geologie,
- dem Bemessungswasserdruck und
- den Nutzungsanforderungen an das Bauwerk.

2 Grundsätzlicher Schichtenaufbau für das Abdichtungssystem Kunststoffdichtungsbahn

Für das Material kommen weichmacherfreie Polyolefine oder weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid (PVC-P) zum Einsatz (Bild 2). Eine sorgfältige Prüfung des Abdichtungsmaterials im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit und die Unbedenklichkeit bezüglich der Umwelt sollte durchgeführt werden. Im Folgenden ist der grundsätzliche Schichtenaufbau eines Abdichtungssystems mit KDB dargestellt.

2.1 Bergseitiges Schutzgeotextil

Während des Betonierens der Innenschale wird die Kunststoffdichtungsbahn gegen den Abdichtungsträger aus Spritzbeton gedrückt. Hier ist ein Schutz notwendig. Verwendet wird ein mechanisch verfestigter Vliesstoff mit einem Flächengewicht von mindestens 900 g/m² als bergseitiges Schutzgeotextil (Bild 3). In drainierten Tunneln übernimmt das Schutzgeotextil auch die Funktion der flächigen Drainage örtlich begrenzter Wasserdrücke und erleichtert die Ableitung der Bergwasserzutritte in die Drainagen.

2.2 System zur Befestigung

Das Befestigungssystem dient der temporären Fixierung des Abdichtungssystems an der Spritzbetonaußenschale. Gleich welcher

- Environmental protection regulations,
- the chemical composition of the underground water, hydrology and geology,
- the dimensioning water pressure and
- the service requirements for the structure.

2 Basic Layer Structure for the Membrane Waterproofing System

Softener-free polyolefin or polyvinylchloride (PVC-P) containing softener is utilized for the material (Fig. 2). The waterproofing material must be carefully checked with regard to its long-term stability and environmental compatibility. The basic layer structure of a membrane waterproofing system is presented as follows.

2.1 Protective Geotextile at the Slope Side

When concreting the inner shell the tunnel waterproofing membrane is pressed against the waterproofing support made of shotcrete. Protection is essential in this case. A mechanically attached fabric is used here with a weight per unit area of at least 900 g/m² as a protective geotextile at the slope side (Fig. 3). The protective geotextile also fulfils the surface drainage function for the locally restricted water pressures and facilitates the transfer of ingressing underground water to the drainage systems.

2.2 Attachment System

The attachment serves to fix the waterproofing system temporarily to the shotcrete outer shell. Regardless of the type of attachment it must be designed in such a manner that the tunnel waterproofing membrane remains undamaged if subjected to load. The attachment must be provided with an approved predetermined breaking point (Fig. 4).

Art die Befestigung ist, muss sie so beschaffen sein, dass im Belastungsfall die Kunststoffdichtungsbahn nicht beschädigt wird. Zudem muss die Fixierung mit einer nachgewiesenen Sollbruchstelle ausgerüstet sein (Bild 4).

2.3 Kunststoffdichtungsbahn (KDB)

Um die geforderte Mindestlebensdauer von mehr als 100 Jahren sicher zu erreichen, müssen die Kunststoffdichtungsbahnen aus langzeitbeständigen und weichmacherfreien Kunststoffen wie z. B. VLDPE (very low density polyethylene) bestehen. In Tunneln mit Drainage werden mindestens 2 mm und in druckdichten Tunneln mindestens 3 mm dicke KDB verwendet. Um Beschädigungen schnell zu finden und die Lichtverhältnisse im Tunnel während der Verlegearbeiten zu verbessern, sind Kunststoffdichtungsbahnen im Tunnelbau luftseitig mit einer hellen Signalschicht ausgestattet. Die Signalschicht sollte aus artgleichem Kunststoff bestehen, um eine dauerhafte Verschweißung der KDB

2.3 Tunnel Waterproofing Membrane

Tunnel waterproofing membranes must consist of long-term resistant and softener-free plastics such as e.g. VLDPE (very low density polyethylene) so that the required minimum life cycle of more than 100 years is safely assured. In tunnels with drainage, membrane at least 2 mm thick is applied – with at least 3 mm thick layers used for pressure-tight tunnels. Tunnel waterproofing membranes applied in tunnelling are provided with a bright marker layer on their exposed side so that damage is located quickly and to improve light conditions in the tunnel during the laying operations. The marker layer should be composed of the same kind of plastic so that the membrane can be welded properly. As the membrane represents the main waterproofing element great care must be taken when it is being selected and installed.

2.4 External Waterstop

Waterstops are usually installed externally in the working joint area (Figs. 5 + 6). They are welded directly on to the prepared tunnel

Geschlossene Bauweise		Darstellung der Tunnel-Abdichtungssysteme mit steigenden Abdichtungsanforderungen und steigender Dichtungssicherheit				
Closed construction method		Presentation of the tunnel waterproofing systems with increasing waterproofing requirements and increasing sealing safety				
Nr. (mit steigenden Abdichtungsanforderungen)/ No. (with increasing waterproofing requirements)	Hydrostatischer Druck über Tunnelsohle in m WS/ Hydrostatic pressure above the tunnel floor in m WC	KDB- Abdichtungs- geometrie/ Membrane waterproofing geometry	Abdichtungssystem (chemischer Betonangriff, XA-Expositionsklasse)/ Waterproofing system (chemical attack on concrete, XA exposure class)		Erforderliche Zusatzmaßnahmen/ Necessary additional measures	
			schwach, mäßig/ weak, moderate XA1, XA2	stark/strong XA3	Fugenbänder (innen- oder außenliegend)/ Waterstops (located inside or outside)	Integriertes Injektionssystem/ Integrated injection system
1	ohne/without	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
2	ohne/without	Regenschirm/ Umbrella	KDB/Membrane 2 mm	–	nein/no	nein/no
3	ohne/without	Rundum/All-round	–	KDB/Membrane 2 mm	nein/no	nein/no
4	< 10	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
5	< 10	Rundum/All-round	KDB/Membrane 3 mm		ja/yes	nein/no
6	< 30	–	WUB-KO	–	ja/yes	nein/no
7	< 30	Rundum/All-round	KDB/Membrane 3 mm		ja/yes	ja/yes
8	< 60	Rundum/All-round	WUB-KO + KDB/Membrane 3 mm (optional 4 mm)		ja/yes	ja/yes
9	< 60	Rundum/All-round	WUB-KO + KDB/Membrane 3 mm + Leckage-Ortungssystem/+ leak detection system		ja/yes	ja/yes
10	< 60	Rundum/All-round	Doppellagige KDB/Double-layer membrane (3 mm + 2 mm)		ja/yes	ja/yes
11	< 60	Rundum/All-round	Doppellagige KDB/Double-layer membrane (3 mm + 2 mm) + Leckage-Ortungssystem/+ leak detection system		ja/yes	ja/yes
12	> 60	Rundum/All-round	WUB-KO + Doppellagige KDB/ Double-layer membrane (3 mm + 2 mm)		ja/yes	ja/yes
13	> 60	Rundum/All-round	WUB-KO + Doppellagige KDB/ Double-layer membrane (3 mm + 2 mm) + Leckage-Ortungssystem//+ leak detection system		ja/yes	ja/yes

(Es handelt sich um eine qualitative Klasseneinteilung der verschiedenen Tunnel-Abdichtungssysteme. Die Planung und Spezifizierung sollte projektspezifisch und unter Berücksichtigung der jeweils gültigen Norm oder Empfehlung (ZTV-ING, RVS 8T, SIA 272, DB-Rili 853, EAG-EDT) erfolgen.)
(This relates to a quantitative class distribution of the various tunnel waterproofing systems. Planning and specification should take place in keeping with the project and taking into consideration the norm or recommendation that is valid in each case (ZTV-ING, RVS 8T, SIA 272, DB-Rili 853, EAG-EDT).)

Tabelle 1: Abdichtungssysteme für die bergmännische Tunnelbauweise (AK Tunnelabdichtung e.V.) [1]

Table 1: Waterproofing systems for trenchless tunnelling (Association for Tunnel Waterproofing) [1]



4 Befestigung der KDB mit Befestigungsronde
Fixing the tunnel waterproofing membrane with rondelle

sicher gewährleisten zu können. Da die Kunststoffdichtungsbahn das Hauptdichtungselement darstellt, muss bei Auswahl und Einbau größte Sorgfalt herrschen.

2.4 Außenliegendes Fugenband

Fugenbänder werden meist außenliegend im Arbeitsfugenbereich eingesetzt (Bild 5, 6). Mit Handschweißgeräten werden sie direkt auf die fertig installierte Kunststoffdichtungsbahn geschweißt und sind deshalb aus dem gleichen Kunststoff wie die KDB. Ihre Hauptfunktion besteht darin, die Dichtebene KDB in abgegrenzte Felder zu unterteilen. So lässt sich die Leckage bei einer Undichtigkeit eingrenzen und gezielt sanieren. Die Verschweißung der Fugenbänder mit der KDB sollte in jedem Fall nachrangig zu der Verschweißung der Kunststoffdichtungsbahnen untereinander sein und darf die Abdichtungsebene der KDB nicht unterbrechen oder zu erhöhten Baustellennähten der KDB führen.

2.5 Zusätzlicher Schutz im Sohlbereich

Im Sohlbereich ist bei druckwasserdichten Tunneln mit einer rundum angeordneten Kunststoffdichtungsbahn ein zusätzlicher Schutz der KDB vor Beschädigungen erforderlich. Folgende Schutzsysteme sind üblich:

- Schutzbahn aus einer zusätzlichen, mindestens 3 mm dicken Kunststoffbahn. Sie muss mit der Kunststoffdichtungsbahn verschweißbar sein und soll ebenfalls mit einer Signalschicht ausgestattet sein.
- Mattenbewehrter Schutzbeton, falls die Abdichtung mit leichtem Gerät befahren werden muss.

2.6 Integriertes Prüf- und Injektionssystem/ Hinterlegungssystem

Bei druckdichten Tunneln mit einer Druckhöhe von mindestens 1 bar (gemessen ab Tunnelsohle) ist nach ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 5 [5] ein integriertes Prüf- und Injektionssystem vorgesehen. Es soll gemäß ZTV-ING als Kontrollsystem eingebaut werden. Auf diese Weise lassen sich unmittelbar Undichtigkeiten durch Wasseraustritte aus den Kontroll-/Injektionsöffnungen feststellen. Bei Undichtigkeit der Dichtungsbahn soll mit diesem System die Möglichkeit geschaffen werden, das jeweils schadhafte Dichtungsfeld durch Verpressen z. B. mit Kunstharz oder Acrylatgel abzudichten.



5 Detail des außenliegenden Fugenbandes in der Arbeitsfuge
Details of the external waterstop in the working joint

waterproofing membrane using manual welding units and are thus made of the same plastic as the membrane. Their main function is to divide the membrane waterproofing level into individual fields. Thus should leaks occur they can be restricted and repaired in a targeted fashion. The welding of the waterstops should follow up welding the tunnel waterproofing membranes and must not interrupt the membranes' waterproofing level or lead to increased membrane construction seams.

2.5 Additional Protection in Floor Area

Additional protection of the tunnel waterproofing membrane against damage is essential in the floor area of water pressure-tight tunnels provided with an all-round membrane. The following protective systems are customary:

- Protective membrane consisting of an additional, at least 3 mm thick tunnel waterproofing membrane. It must be weldable with the membrane and also be provided with a marker layer.
- Matting-reinforced protective concrete if the waterproofing surface has to accommodate light equipment.

2.6 Integrated Test and Grouting System/ Backfilling System

In the case of pressure-tight tunnels with pressure amounting to at least 1 bar (measured from the tunnel floor) an integrated test and injection system is foreseen according to ZTV-ING Part 5 Section 5 [5]. It is installed as a control system in keeping with ZTV-ING. In this way leaks caused by water escaping from the control/injection openings can be immediately identified. Should there be leaks in the sealing membrane this system is intended to afford the possibility of waterproofing the various damaged sealing sectors by means of grouting i.e. with synthetic resin or acrylate gel.

Backfilling (advanced roof gap grouting) of the entire inner shell block with cement (suspension) represents a follow-up or alternative to the systems contained in the ZTV-ING. The basic idea in this case is to secure a completely concreted inner shell before the underground water drainage system is grouted and the slope side water pressure pushes the tunnel waterproofing membrane against the inner shell's outer side. This system prevents possible damage, which can be caused by the water pressure pressing the membrane against uneven surfaces or at the worst exposed reinforcement on the outer side of the tunnel inner shell. It must be added however that then the control system no longer exists in accordance with the ZTV-ING.



6 Abdichtungsdetail an einem Querschlag
Details of waterproofing at a cross-passage

Eine Ergänzung oder Variante des in der ZTV-ING vorgeschriebenen Systems stellt die Hinterlegung (Erweiterte Firstspaltverpressung) des gesamten Innenschalenblocks mit Zement (Suspension) dar. Die Grundidee hierbei ist die Sicherstellung einer vollständig ausbetonierten Innenschale bevor die Bergwasserdrainage verpresst wird und der bergseitige Wasserdruck die KDB auf die Außenseite der Innenschale drückt. Dieses System beugt möglichen Schäden vor, die dadurch entstehen können, dass der Wasserdruck die KDB auf unebene Flächen oder schlimmstenfalls auf freiliegende Bewehrung an der Außenseite der Tunnelinnenschale drückt. Allerdings existiert dann das Kontrollsystem im Sinne der ZTV-ING nicht mehr.

3 Anforderungen an KDB und Verlegung

3.1 Allgemeines

Folgende Voraussetzungen sind für eine dauerhafte Druckdichtigkeit nötig:

- KDB muss dauerhaft beständig sein
- Bahnen müssen untereinander dicht und nachprüfbar verschweißt sein
- Während des Baus und im Betriebszustand muss das Abdichtungssystem ausreichend widerstandsfähig sein

Bisherige Kriterien für die sichere Funktionsfähigkeit des Abdichtungssystems:

- Fachgerechter Einbau und korrekte Befestigung des Abdichtungssystems
- Dichte Verschweißung der Bahnen untereinander
- Schutz gegen luftseitige Verletzungen beim Einbau der Bewehrung, Stellen der Schalung etc.
- Schutz gegen bergseitige Beschädigung durch eine ausreichend ebenflächige Spritzbetonoberfläche und durch den Einbau eines Schutz- und Drainagevlieses ($\geq 900 \text{ g/m}^2$)

Bei einer glatten Außenseite der Ortbetoninnenschale halten Kunststoffdichtungsbahnen der zusätzlichen Belastung durch Wasserdruck von außen problemlos stand. Untersuchungen an undichten Tunneln haben jedoch gezeigt, dass die Außenseite der Ortbetoninnenschale nicht immer durchgehend glatt hergestellt

3 Requirements on Membrane and Laying

3.1 General

The following prior conditions are necessary for permanent pressure tightness:

- Tunnel waterproofing membrane has to be permanently resistant
- Membranes must in general be tight and appropriately welded together
- The waterproofing system must be sufficiently resistant during construction and in operational state

Existing criteria for the safe functioning of the waterproofing system:

- Proper installation and correct attachment of the waterproofing system
- The membranes must be tightly welded to each other
- Protection against damage at the exposed side when installing the reinforcement or setting up the scaffolding etc.
- Protection against damage at the slope side thanks to a sufficiently uniform shotcrete surface and by installing a protective drainage geotextile ($\geq 900 \text{ g/m}^2$)

Given a smooth outer surface of the in situ concrete inner shell tunnel waterproofing membranes have no problem in withstanding the additional load caused by external water pressure. Investigations of leaky tunnels have however revealed that the outer side of the in situ concrete inner shell cannot always be produced with a smooth form. This can be attributed to the concrete mix or even processing. However the flaws affecting the waterproofing system are unidentifiable as the outer side of the in situ concrete shell cannot be checked. The water pressure that is reactivated after installation affects the membrane and presses it against the rough outer side of the inner shell. Damage is practically programmed even after months have passed. An examination of the outer side of the in situ concrete inner shell cannot be undertaken at a subsequent point in time. An integrated test and injection system with the possibility to undertake backfilling can be the answer. In this way, a smooth abutment for the sealing membrane on the outer side of the in situ concrete inner shell can be assured and the client still be provided with a functioning test and injection system.

3.2 Laying the Tunnel Waterproofing Membrane

First of all the quality of the shotcrete seal carrier must be checked with the following requirements applying (according to ZTV-ING Part 5 Section 1 – 12/2007):

- Aggregates of gravel (round grain) or cubically crushed grain (chippings)
- Thickness at least 3 cm
- Largest grain size 8 mm
- Unevennesses must not exceed 1:20 (depth to base), corresponding to a pitch of 1:10
- Minimum radius for filleting unevennesses and for recesses, junctions and breakdown bays amounts to $r = 20 \text{ cm}$
- Strength and form resistance
- Ingressing water from the outer shell must be transferred to the construction drainage system prior to laying the membrane



7 Installation der Rondellen
Installing the rondelles

werden kann. Dies kann an der Betonrezeptur oder auch an der Verarbeitung liegen. Die für das Abdichtungssystem schädlichen Fehlstellen können jedoch nicht erkannt werden, da die Außenseite der Ortbetonschale nicht kontrollierbar ist. Der nach dem Einbau wieder anstehende Wasserdruck belastet die KDB und drückt sie gegen die raue Außenseite der Innenschale. Schäden, selbst nach Monaten, sind geradezu programmiert. Eine Überprüfung der Außenseite der Ortbetoninnenschale ist nachträglich nicht möglich. Abhilfe könnte ein integriertes Prüf- und Injektionssystem mit zugehöriger Hinterlegungsmöglichkeit schaffen. Dadurch könnte ein glattes Widerlager der Abdichtungsbahn an der Außenseite der Ortbetoninnenschale gewährleistet und trotzdem dem Bauherrn ein funktionierendes Prüf- und Injektionssystem übergeben werden.

3.2 Verlegung der KDB

Zuerst sollte die Qualität des Spritzbetonabdichtungsträgers überprüft werden, wobei folgende Anforderungen gelten (gemäß ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 1 - 12/2007):

- Zuschläge aus Kies (Rundkorn) oder kubisch gebrochenem Korn (Edelsplitt)
- Dicke mindestens 3 cm
- Größtkorn maximal 8 mm
- Unebenheiten dürfen ein Maß von 1:20 (Tiefe zu Basis), das entspricht einer Neigung von 1:10, nicht überschreiten
- Mindestradius der Ausrundungen von Unebenheiten und bei Nischen, Anschlüssen und Pannenbuchten beträgt $r = 20$ cm
- Festigkeits- und Formbeständigkeit
- Wasserzutritte aus der Außenschale müssen vor dem Verlegen der KDB in die Baudrainage eingeleitet werden

Der Grad der Oberflächenrauigkeit ist eine wichtige Eigenschaft des Abdichtungsträgers. Sie ist noch nicht in den Regelwerken definiert und wird derzeit subjektiv auf der Baustelle festgelegt. Hier würde etwa eine Referenzfläche den Bauablauf vereinfachen. Alternativ bietet sich ein Schutzwirksamkeitsversuch auf der Baustelle an. Dabei wird eine Referenzfläche des Abdichtungsträgers in einer „Spritzkiste“ vorbereitet, in der Horizontalen das



8 Verschweißung der KDB
Welding the tunnel waterproofing membrane

The degree of surface roughness represents an important characteristic of the seal carrier. It has still to be defined in the codes of practice and is currently determined subjectively on-site. In this case a field of reference would simplify the construction process. A test to establish the protective effect can be undertaken on-site as an alternative. Towards this end a reference field for the seal carrier is prepared in a "spraying box" in which the horizontal elements of the waterproofing system are set up and placed in a pipe (e.g. steel pipe or PE pipe) vertically with the maximum concreting height. After the pipe is filled to the maximum with concrete, the setting time adhered to and stripping carried out, the tunnel waterproofing membrane can be examined for elongations and perforations. After approval, work can start on installing the waterproofing system. Rondelles are generally used to temporarily attach the waterproofing system (Fig. 7). They must be provided with an approved predetermined breaking point in order to prevent damage to the tunnel waterproofing membrane while the inner shell is being concreted. As the seal carrier is an uneven undulating surface the geotextiles and the membrane should possess an optimal roll width in order to ensure that the laying procedure is carried out as uniformly as possible. Roll widths of roughly 2 m have established themselves for the laying technology that is customarily practiced. After laying, the tunnel waterproofing membranes are welded together using welding machines (Fig. 8). The seams are executed as testable double seams with test channel, which are subsequently examined by applying compressed air to establish their tightness. Double seams executed by automatic means should also be applied if possible in overlapping and corner sections as well to arrive at a better waterproofing result (Fig. 9).

3.3 Quality Monitoring and Assurance

Only experienced firms should undertake waterproofing assignments. Their competence can be controlled by monitoring the quality. (Tunnel waterproofing companies can for example obtain certification in the Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e.V. (Deutschland)/ Association for Tunnel Waterproofing (Germany) in accordance with the working group's valid monitoring ordinance. The STUVA in

Abdichtungssystem aufgebaut und ein Rohr (z. B. Stahlrohr oder PE-Rohr) vertikal mit der maximalen Betonierhöhe aufgestellt. Nach maximaler Befüllung des Rohrs mit Beton, Einhaltung der Abbindezeit und Ausschalen kann die KDB auf Dehnungen und Perforationen untersucht werden. Nach Abnahme kann mit dem Einbau des Abdichtungssystems begonnen werden.

Zur temporären Befestigung des Abdichtungssystems werden in der Regel Rondellen verwendet (**Bild 7**). Sie müssen mit einer nachgewiesenen Sollbruchstelle ausgestattet sein, um Beschädigungen an der KDB während des Betonierens der Innenschale zu vermeiden. Da es sich bei dem Abdichtungsträger um eine ungleichmäßig wellige Oberfläche handelt, sollten die Geotextilien und die KDB eine optimale Rollenbreite aufweisen, um eine möglichst flächennahe Verlegung zu gewährleisten. Bei der allgemein üblichen Verlegetechnik haben sich Rollenbreiten von ca. 2 m etabliert.

Nach Verlegung werden die Kunststoffdichtungsbahnen mit Schweißmaschinen miteinander verschweißt (**Bild 8**). Die Nähte werden als prüfbare Doppelnähte mit Prüfkanal ausgeführt, die im Nachgang mittels Luftdruckprüfung auf ihre Dichtigkeit untersucht werden. Automatengeführte Doppelnähte sollten möglichst auch in Verschneidungs- und Nischenbereichen ausgeführt werden, um ein besseres Abdichtungsergebnis zu erhalten (**Bild 9**).

3.3 Güteüberwachung und Qualitätssicherung

Ausschließlich erfahrene Fachunternehmen sollten die Abdichtungsarbeiten durchführen. Durch entsprechende Güteüberwachung kann die Kompetenz nachgewiesen werden. (Tunnel-Abdichtungsunternehmen können sich etwa im Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e. V. (Deutschland) entsprechend der aktuellen Überwachungsordnung des Arbeitskreises zertifizieren lassen. Die STUVA e. V. in Köln ist derzeit mit der Prüfung beauftragt.) Um einen dauerhaften Abdichtungserfolg zu erreichen, sollte das QS-System bereits mit der Rohstoffeingangskontrolle des Dichtungsbahnherstellers beginnen und erst bei Schweißnahtprüfung und Abnahme der Abdichtungsarbeiten enden.

4 Mögliche Schäden und deren Behebung

Grundsätzlich können Schäden vor und nach Einbau des Innenschalenbetons entstehen. Während vor der Betonage noch Korrekturmöglichkeiten bestehen (**Tabelle 2**), ist nach der Betonage, bis auf die Verwendung eingebauter Systeme, kaum noch etwas zu korrigieren. Mögliche Ursachen von Schäden, die nach dem Betoneinbau festgestellt werden:

- Zu hohe Rauigkeit bzw. nicht ausreichende Ebenheit des Abdichtungsträgers oder herausstehende Ankerköpfe. Während des Betoneinbaus wird die KDB an den Abdichtungsträger gepresst und wird dabei beschädigt.
- Die Innenschale wird nicht ausreichend und in vollem Volumen ausbetoniert. Der Wasserdruck presst die KDB auf die Oberfläche der Innenschalenaußenseite oder sogar auf freiliegende Bewehrung. Dabei können Beschädigungen auftreten, wenn keine glatte Oberfläche hergestellt wurde.



9 Abdichtung mit einer KDB im Bereich einer Nische

Waterproofing with a tunnel waterproofing membrane in a recess

Cologne is currently charged with carrying out the testing procedure. In order to arrive at lasting success in waterproofing the quality assurance system should begin by checking the raw material on receipt and wind up with testing the welding seam and approving the waterproofing jobs.

4 Possible Damage and its Repair

Damage can essentially occur prior to and after placing the inner shell concrete. Although it is possible to repair damage prior to concreting (**Table 2**), corrections are scarcely possible after concreting has been accomplished save for making use of previously installed systems.

Possible causes of damage established after placing the concrete:

- Excessive roughness or a lack of evenness of the seal carrier or projecting anchor heads. While placing the concrete the membrane is pressed against the seal carrier and thus damaged.
- The inner shell is insufficiently concreted to its full volume. The water pressure presses the tunnel waterproofing membrane on to the surface of the outer side of the inner shell or even against exposed reinforcement. In this way, damage can occur if no smooth surface was produced.

4.1 Damage after installing the Inner Shell

Frequently leaks first occur in tunnels after several weeks or even months have elapsed, especially given high water pressures. This can happen if the water pressure presses the tunnel waterproofing membrane from the outside against the inner shell and in turn, against existing defects. There is a danger of "time-delayed" damage owing to the constant and relentless effect of water. Flaws on the outside of the tunnel inner shell can be:

- "Rock pockets" resulting from incorrect placing of concrete, demixing and/or poor compaction
- A lack of concrete and exposed reinforcement especially in the case of high reinforcement contents
- Voids (particularly in the upper cross-section half, the air cannot escape from the concrete thus forming voids)
- Incomplete roof gap grouting

4.1 Beschädigung nach Einbau der Innenschale

Häufig sind erst nach einigen Wochen oder Monaten Undichtigkeiten in Tunneln aufgetreten, insbesondere bei hohen Wasserdrücken. Das kann passieren, wenn der Wasserdruck die KDB von außen gegen die Innenschale und damit gegen evtl. vorhandene Fehlstellen drückt. Durch die ständige und nachdrängende Wasserlast besteht die Gefahr von „zeitverzögerten“ Beschädigungen. Fehlstellen an der Außenseite der Tunnelinnenschale können sein:

- „Kiesnester“ durch unsachgemäßen Betoneinbau, Entmischung und/oder schlechte Verdichtung
- Fehlender Beton und freiliegende Bewehrung, insbesondere bei hohen Bewehrungsgehalten
- Lunker (insbesondere in der oberen Querschnittshälfte kann die Luft aus dem Beton nicht entweichen und bildet Lunker)
- Unvollständige Firstspaltverpressung

Die begrenzte Wirkungstiefe bei der Betonverdichtung mit Schalungsrüttlern begünstigt die zuvor genannten Probleme bei folgenden Rahmenbedingungen:

- Hohe Bewehrungsgehalte
- Große Innenschalendicke
- Schlecht verarbeitbarer Beton durch ungeeignete Rezeptur
- Unterbrechungen während der Betonage (z. B. bei Unterbrechung kontinuierlicher Betonlieferung, Geräteschäden, etc.)
- Im Beton vorhandene Luftblasen führen an der Abdichtungsfolie im First- und Ulmenbereich zu Lunkerbildung, da die Luft nicht entweichen kann

4.2 Schutz der KDB im Bau- und Endzustand

Zum Schutz der KDB im Bauzustand sieht die aktuelle Normung vor, ein Vlies mit mindestens 900 g/m² statt 500 zu verwenden. Durch angepasste Verlegung können zudem Zerrungen oder Verletzungen der KDB während des Betoneinbaus vermieden werden.

The restricted effective depth when concrete is compacted by formwork vibrators favours the previously mentioned problems given the following framework conditions:

- High contents of reinforcement
- Large inner shell thickness
- Poorly worked concrete due to unsuitable mix
- Interruptions during concreting (e.g. given hold-ups in continuous concrete supply, damage to equipment, etc.)
- Air bubbles existing in the concrete lead to the formation of voids in the roof and wall area as the air cannot escape

4.2 Protecting the Tunnel Waterproofing Membrane during Construction and in its final State

In order to protect the membrane during construction the current norm foresees using a geotextile of at least 900 g/m² rather than 500 g/m². Furthermore by taking care during laying rips or damage to the membrane when placing the concrete can be avoided.

In its final state the membrane can be protected against the inner shell as follows: through non-destructive measuring of the thickness of the inner shell prior to grouting the construction drainage system it is possible to identify an excessively thin concrete thickness, providing the dimensions of the area are greater than the test grid, thus minimizing the danger of exposed reinforcement on the outer side. In the roof area the roof gap is closed by grouting via previously installed grouting ports, caused by the concrete setting after the concreting process or through the tunnel block being inadequately filled.

Defects in the concrete in the wall and floor area for the most part remain unidentified. Possible major flaws must be repaired by drilling the presumed defect and then grouting it (high risk of damaging the membrane during drilling). Repairing such defects can also be accomplished by means of injection systems that have been installed as a precaution.

Schaden/Fehler	Damage/Defect	Behebung/Vermeidung	Repair/Avoidance
Fehlerhafte Dichtungsbahnen Defective sealing membranes		Qualitätssicherung der Produkte, werks- und bauseitig Quality assurance of the products, at the works and on-site	
Mangelhafte Installation Faulty installation		<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherungsplan • Einsatz güteüberwachter Tunnel-Abdichtungsunternehmen • DVS geprüfte Schweissfacharbeiter - Quality assurance plan - Use of approved tunnel waterproofing companies - DVS (German Welding Society) tested skilled welders 	
Beschädigung der Abdichtung während des Bewehrungseinbaus Damage to the waterproofing while installing the reinforcement		Partieller Rückbau der Bewehrung und Sanierung der Schadstelle mittels verschweißtem Zuschchnitt durch Warmgasextrusionsschweißung Partial removal of the reinforcement and repair of the defect by means of welding with hot gas extrusion welding	
Verwendung von unzureichenden Abstandhaltern der Bewehrung Using inadequate spacers for the reinforcement		<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung von Abstandhaltern mit kippstärker Geometrie und abgerundeten Kanten - Application of spacers with tilt-proof geometry and rounded edges 	
Beschädigung durch das Schalungssystem im Stirnschalungsbereich durch z. B. Nägel, Keile oder Stemmeisen Damage caused by the formwork system in the stopend formwork area resulting from nails, wedges or chisels		<ul style="list-style-type: none"> • Ausführungsabstimmung der Nebengewerke • Verfahrensanweisungen • Rückbau der Stirnschalung und ggf. der Bewehrung • Sanierung durch Zuschchnitt mit Warmgasextrusionsschweißung - Implementing the execution of subsidiary works - Instructions on methods - Removal of the stopend formwork and if need be, the reinforcement - Repair through cutting with hot gas extrusion welding 	

Tabelle 2: Mögliche Schäden vor dem Betoneinbau und deren Behebung

Table 2: Possible damage prior to placing the concrete and its repair

Im Endzustand kann die KDB wie folgt gegen die Innenschale geschützt werden: Durch die zerstörungsfreie Dickenmessung der Innenschale vor dem Verpressen der Baudrainage lässt sich eine zu geringe Betondicke, sofern das Ausmaß der Fläche größer als das Prüfraster ist, erkennen und somit die Gefahr freiliegender Bewehrung an der Außenseite minimieren. Im Firstbereich erfolgt durch die Verpressung des Firstspaltes über zuvor eingebaute Verpressstützen ein Verschluss des Firstspaltes, der durch das Absetzen des Betons nach dem Betonieren oder durch das unvollständige Verfüllen des Tunnelblocks entsteht. Im Ulmen- und Sohlbereich können Fehlstellen im Beton meist nicht erkundet werden. Mögliche größere Fehlstellen müssen durch Anbohren der vermuteten Fehlstelle und nachträgliches Verpressen (hohe Verletzungsgefahr der KDB während des Anbohrens) saniert werden. Die Sanierung solcher Fehlstellen kann auch über vorsorglich eingebaute Injektionssysteme erfolgen.

4.3 Sanierung von Leckagen

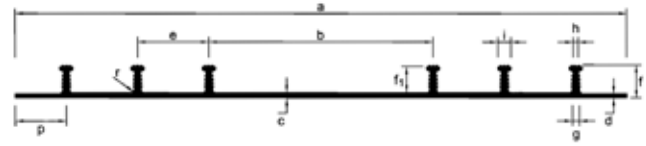
Die genaue Lokalisierung der Schadensstelle ist die Basis für eine möglichst nachhaltige Sanierung. Sehr hilfreich ist dabei die Segmentierung beziehungsweise Abschottung durch außenliegende Arbeitsfugenbänder im Blockfugenbereich. Die Schottfunktion kann jedoch nur bei vollkommener Einbettung der Fugenbandstege in den Innenschalenbeton erreicht werden. Um dies sicherzustellen, werden die Fugenbänder mit Entlüftungs- und Nachbetoniereinrichtungen versehen. Nach vollständiger Betonage der Innenschale werden die Fugenbänder anschließend aktiviert, d. h. mittels Zementsuspension nachbetoniert. Danach kann der entsprechend lokalisierte Block vollflächig nachgedichtet werden. Hierbei werden aufgrund ihrer hohen Viskosität vorwiegend Acrylatgele verwendet.

5 Herstellung von Tunnelabdichtungen

Bei wasserdruckhaltenden Abdichtungen ist ein mindestens 0,60 m breites 6-stegiges außenliegendes Fugenband (Schottfugenband) mit den Abmessungen gemäß **Bild 10** anzuordnen. Das Fugenband ist an beiden Rändern mit einer mindestens 30 mm breiten Fügenaht auf die zuvor verlegten und gefügten KDB aufzuschweißen. Die Verbindung muss so fest sein, dass ein nachträgliches Ablösen des Fugenbandes von der Abdichtung ausgeschlossen ist.

Um im Bereich der Blockfugen sowohl entlüften als auch nachbetonieren zu können, sind beiderseits der Blockfuge jeweils mindestens sechs radial eingebaute Schläuche oder Rohre mit ca. 20 mm Innendurchmesser in die Zwischenräume der Sperranker zu führen. Im First- und Ulmenbereich sind beiderseits der Blockfugen zusätzlich jeweils drei radial eingebaute Injektionsschläuche für eine Nachdichtung des Schottfugenbandes in jeweils einen Sperrankerzwischenraum zu führen.

Während die Zwickelbereiche zwischen den Fugenbandstegen planmäßig über die Nachbetonieröffnungen verfüllt werden, sollen die Injektionsschläuche nur im Fall von Undichtigkeiten verpresst werden.



Breiten			Dicken		Profilierung							
a	b	p	c	d	n	e	f	f ₁	g	h	i	r
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
600	200-220	50-60	4-5	3-4	6	70	30-35	≥26	≥5	≥4	12-14	≥3

10 Ausbildung und Abmessungen des außenliegenden Fugenbandes

Form and dimensions of the external waterstop

4.3 Repairing Leaks

The precise location of the source of damage forms the basis for a possible lasting repair. In this connection, segmentation or separation by means of external working waterstops in the block joint area is very useful. The separating function however can only be achieved with inner shell concrete. In order to accomplish this the waterstops are provided with de-airing and reconcreting devices. After the inner shell has been completely concreted the waterstops are then activated, i.e. reconcreted using a cement suspension. Thereafter the correspondingly localized block can be completely reconcreted. In such cases, acrylate gels are mainly applied owing to their high viscosity.

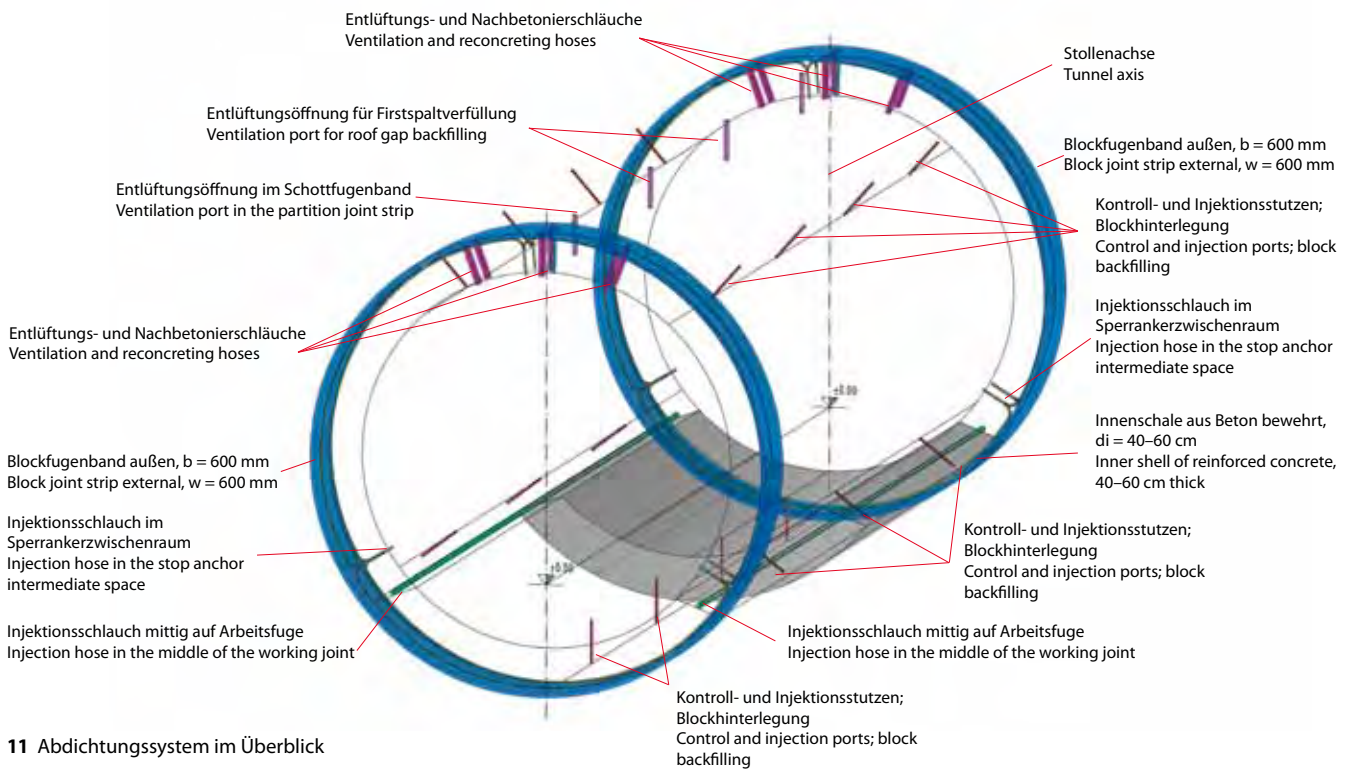
5 Creating Tunnel Seals

An at least 0.60 m wide 6-web external waterstop with dimensions in accordance with **Fig. 10** must be put in place in the case of water pressure resistant seals. The waterstop has to be welded on at both edges with an at least 30 mm wide joint seam to the previously laid, firmly attached membrane. The connection must be so well executed that the waterstop does not subsequently loosen from the seal.

At least six radially installed hoses or pipes with an internal diameter of some 20 mm must be introduced into the space between the stop anchors at both sides of the block joints in order to be able to de-air and reconcrete the block joint area. In addition three radially installed injection hoses for re-treating the waterstop have to be introduced into each of the stop anchor intermediate spaces in the roof and wall area at both sides of the block joints. Whereas the interconnecting areas between the waterstop webs can be filled according to schedule via the reconcreting ports, the injection hoses should only be applied in the event of leaks.

6 Test and Injection System

The fields defined by the block waterstops are provided with a test and injection system from water pressure in excess of a 10 m water column. They must be formed by unrestricted openings, hoses and pipes and have to be protected against closing while concreting and the roof gap is being backfilled. Should the membrane be leaky both the possibility of water escaping as well as injecting through the ports must be provided for. The distance between ports must not exceed 5 m lengthwise and in the ring direction. They must be



11 Abdichtungssystem im Überblick
Waterproofing system in detail

6 Prüf- und Injektionssystem

Die durch die Blockfugenbänder begrenzten Felder sind ab einem Wasserdruck von 10 m Wassersäule mit einem Prüf- und Injektionssystem auszustatten. Sie sollen durch frei gehaltene Aussparungen, Schläuche oder Rohre gebildet werden und sind gegen Verschließen beim Betonieren und bei der Firstspaltverfüllung zu schützen. Bei einer Undichtigkeit der KDB muss sowohl die Möglichkeit des Wasseraustritts als auch der Injektion durch die Öffnungen gegeben sein. In Längs- und Ringrichtung darf der gegenseitige Abstand der Öffnungen höchstens 5 m betragen. Sie müssen wasserdicht verschließbar sein, bei Leitungen auch gegen den angrenzenden Beton (Bild 11).

6.1 Fugenbänder

Im Vergleich zu früheren Ausführungsmethoden stellt die konstruktive Gestaltung der Fugenbänder mit Nachbetoniermöglichkeit und zusätzlichen Verpressschläuchen einen wesentlichen Fortschritt dar. Die größere Fugenbandbreite erweitert das in Bild 10 angegebene Maß b . Damit ist ausreichend Raum zum Einbau der Stirnschalung zwischen den Stegen. Zudem kann im Firstbereich durch die Nachbetonier- und Injektionsmöglichkeit eine dichte Einbindung der Fugenbänder in den Innenschalenbeton gewährleistet werden.

6.2 Kontroll- und Injektionssystem

Das Kontroll- und Injektionssystem zeigt mögliche Undichtigkeiten durch Wasseraustritte im Bereich der Abdichtungsfelder an und erlaubt die Sanierung der Schadstelle durch nachträgliche Injektion. Folgende Sachverhalte sind dabei zu beachten:

- Die Verpressung des Firstspaltes muss vor dem Verpressen der Baudrainage erfolgen.

capable of being closed to be watertight, also against the adjacent concrete in the case of pipes (Fig. 11).

6.1 Waterstops

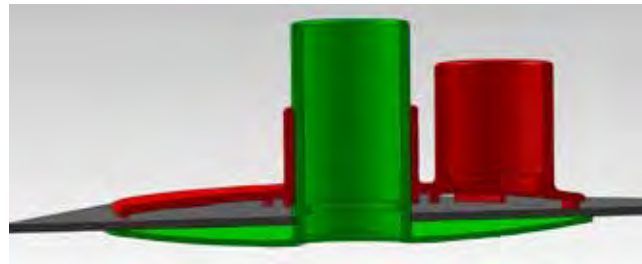
Compared with earlier methods of execution the structural form of waterstops with the possibility of reconcreting them with concrete and additional grouting hoses represents significant progress. The larger waterstop width extends the dimension b provided in Fig. 10. In this way there is sufficient space for installing the stopend formwork between the webs. In addition it is assured that the waterstops are firmly integrated in the inner shell concrete in the roof area thanks to the opportunity allowing for reconcreting and grouting.

6.2 Control and Injection System

The control and injection system reveals possible leaks due to ingressing water in the sealing field area and allows a defect to be repaired by subsequent grouting. Towards this end, the following aspects must be taken into account:

- The roof gap must be grouted before the construction drainage system is tackled.
- It is essential that the grouting hoses for the integrated control and injection system are flush up against the tunnel waterproofing membrane so that the cement suspension is prevented from penetrating when the roof gap is being grouted.
- Should there be a leak in the tunnel waterproofing membrane the water must be allowed to escape via the grouting hoses and subsequent grouting facilitated via the "control and injection system".
- An all-round temporary seal for the membrane layout has proved itself in practice. On the one hand, the cement suspension must be prevented from penetrating when grouting the roof gap and

- Es ist notwendig, dass die Verpressschläuche des integrierten Kontroll- und Injektionssystems dicht gegen die KDB abschließen, um ein Eindringen der Zementsuspension beim Verpressen des Firstspaltes zu verhindern.
- Im Fall einer Undichtigkeit der KDB muss ein Wasser- austritt über die Verpressschläuche gewährleistet und eine spätere Verpressung über das „Kontroll- und Injektionssystem“ möglich sein.
- In der Praxis bewährt hat sich die umlaufende temporäre Dichtung des KDB-Zuschnitts. Einerseits muss ein Eindringen der Zementsuspension beim Verpressen des Firstspaltes verhindert werden und andererseits eine Durchgängigkeit für Wasser und Injektionsmittel gegeben sein.
- Nach dem Verpressen des Firstspaltes ist eine „Aktivierung“ des Verpressstutzens erforderlich. Die temporäre Dichtung des KDB-Zuschnitts wird über den Verpressschlauch mit Wasser oder Druckluft durchgängig gemacht.
- Die Anschlüsse der Verpressschläuche des Prüf- und Injektionssystems müssen besonders beobachtet werden, damit beim Verpressen des Firstspaltes der Austritt von Zementsuspension durch die Verpressschläuche verhindert werden kann.



12 Kombiniertes Kontroll- und Injektionssystem als Doppelinjektionsstutzen
Combined control and injection system in the form of twin injection ports

7 Kombiniertes Kontroll- und Injektionssystem

Um einem ausführenden Unternehmen die einwandfreie Herstellung der Tunnelinnenschale durch planmäßige Hinterlegung ermöglichen und die Kontroll- und Injektionsmöglichkeit erhalten zu können, ließ der Arbeitskreis für Tunnelabdichtung e.V. im Rahmen eines Forschungsauftrages Lösungsansätze erarbeiten. Hintergrund ist, während der Tunnelbauphase eine Hinterlegung beziehungsweise erweiterte Firstspaltverpressung von der Sohle aufwärts durch das ausführende Unternehmen zu ermöglichen und gleichzeitig dem Bauherrn ein funktionsfähiges Prüf- und Injektionssystem zu bieten. Ein Doppelinjektionsstutzen könnte die Lösung sein (Bild 12).

8 Integriertes Injektionssystem mit Blockhinterlegung als erweiterte Firstspaltverpressung

Das integrierte Kontroll- und Injektionssystem mit der Erweiterung zum Doppelinjektionssystem wird eingebaut. Statt einer Firstspaltverpressung werden vor dem Verschließen der Baudrainage vom Sohlteufstiefen beginnend die Blöcke über die Injektionsschläuche mit Zementsuspension verpresst (hinterlegt). Dabei erfolgt die Verpressung von unten nach oben jeweils soweit, bis an der nächsthöheren Verpressöffnung Suspension austritt. Der jeweils tiefere Verpressstutzen wird verschlossen und der Verpressvorgang an der nächsthöheren Öffnung fortgesetzt. Zum vollständigen Hinterlegen werden generell 3 bis 4 Blöcke mit Packern versehen und mit Suspension beaufschlagt. Der erste Schritt der Hinterlegung ist abgeschlossen, wenn an den Entlüftungsöffnungen in der

on the other a path for water and grouting agents must be provided.

- After grouting the roof gap the grouting port must be “activated”. Water or compressed air is applied to make the temporary seal for the membrane layout accessible via the grouting hose.
- The connections of the grouting hoses of the test and injection system must be particularly observed to ensure that cement suspension can be prevented from escaping from the grouting hoses.

7 Combined Control and Injection System

The Association for Tunnel Waterproofing came up with approaches for solutions within the scope of a research project so that a contractor is able to produce a faultless tunnel inner shell and retain the facility of a control and injection system. This is founded on enabling the responsible contractor to backfill or rather execute advanced roof gap grouting upwards from the floor and at the same time offer the client a functioning test and injection system. A twin injection port could provide the solution here (Fig. 12).

8 Integrated Injection System with Block Backfilling as advanced Roof Gap Grouting

The integrated control and injection system is installed incorporating the twin injection system. The blocks are grouted (backfilled) with cement suspension via the injection hoses starting from the bottom of the floor instead of carrying out grouting of the roof gap prior to closing the construction drainage system. Towards this end, grouting from the bottom to the top is carried out until suspension emerges from the next higher grouting port. The lower grouting port is in each case closed and the grouting process continued from the next higher opening. Generally 3-4 blocks are provided with packers and supplied with suspension to complete the backfilling phase. The first step of the backfilling process is completed when suspension comes out of the ventilation ports in the tunnel roof and the maximum pressure is attained. The grouting pumps must have a control system at their disposal geared to pressure, quantity and time as well as a means of recording these values. In this way the grouting procedure is controlled, recorded and also applied for quality assurance. Grouting can be adapted before the theoretical target quantity is arrived at in the event of increases in pressure and shortfalls. Furthermore, it can be seen whether unusually large amounts of grout and distribution extending beyond the active block occur. The advantages of systematic block backfilling are evident:

- Defects, rock pockets and voids are filled with cement suspension
- A uniform, smooth abutment is produced for the membrane to transfer the pressures from the water pressure at the slope side
- The inner shell is completely concreted
- The concrete covering is assured as rock pockets are filled.


Tunnelfirste Suspension austritt und der Maximaldruck erreicht ist. Die Verpresspumpen müssen über eine druck-, mengen- und zeitabhängige Steuerung sowie Aufzeichnung dieser Werte verfügen. Damit wird der Injektionsverlauf gesteuert, aufgezeichnet und weiter zur Qualitätssicherung eingesetzt. Bei Druckanstiegen und Mindermengen vor Erreichen der theoretischen Zielmenge kann die Injektion angepasst werden. Zudem lässt sich beobachten, ob außergewöhnliche Mehraufnahmen von Injektionsgut und Verteilungen über den aktiven Block hinaus stattfinden. Die Vorzüge der systematischen Blockhinterlegung liegen klar auf der Hand:

- Fehlstellen, Kiesnester und Lunker werden mit Zementsuspension verfüllt
- Es entsteht ein ebenes, glattes Widerlager für die KDB zur Übertragung der Drücke aus dem bergseitigen Wasserdruck
- Die Innenschale ist vollständig betoniert
- Die Betondeckung ist durch das Verfüllen von Nestern gewährleistet.

9 Bisherige Erfahrungen mit dem Prüf- und Injektionssystem bzw. der Blockhinterlegung


Bei verschiedenen Straßen- und Eisenbahntunneln wurde das Prüf- und Injektionssystem nach ZTV-Ing bereits eingebaut. In fast allen Tunneln wurden nach Verpressen der Baudrainage und mit Anstieg des Bergwasserspiegels abschnittsweise Undichtigkeiten festgestellt. Wasser fließt dabei über die Verpressstutzen durch die Verpressschläuche in den Tunnel. Die Kontrollfunktion des Systems funktionierte also. Für die Praxis muss allerdings festgestellt werden, dass es sehr schwierig ist, ein hundertprozentig druckwasserdichtes Abdichtungssystem mit KDB über die Gesamtlänge eines Tunnels herzustellen. Bewehrungseinbau, Betoniervorgang und unebene Außenseiten der Innenschale sind dabei die größten Gefahren für Beschädigungen der KDB. Um mögliche Schäden an der Tunnelabdichtung im Laufe des Lebenszyklus des Bauwerks erkennen und sanieren zu können, muss nach ZTV-ING das Kontroll- und Injektionssystem erhalten bleiben.

Ein Abdichtungssystem, das bereits vor Abnahme des Bauwerks undicht ist, kann jedoch praktisch nicht saniert werden ohne die vorhandenen Verpressstutzen des Prüf- und Injektionssystems zu verschließen bzw. die Injektionen über die Verpressstutzen durchzuführen. Die dauerhafte Kontrollfunktion kann in einem solchen Fall nicht mehr gewährleistet werden.

Erfahrungen mit der planmäßigen Hinterlegung von Tunnelblöcken liegen vor. Der Datenbestand bescheinigt eine erfolgreiche Dichtigkeit nach der durchgeführten Hinterlegung dieser Tunnel. Im Tunnel Brixlegg in Österreich etwa wurde die Blockhinterlegung systematisch auf einer Gesamtlänge von ca. 5,5 km im Haupttunnel sowie im Rettungstollen durchgeführt. In diesen Abschnitten kam es nach dem Aufspiegeln des Bergwassers (maximal gemessener Wasserdruck ca. 5 bar) zu keinen nennenswerten Undichtigkeiten. Die Hinterlegungstechnik wurde hier von der Universität Innsbruck im Rahmen einer Diplomarbeit [13] analysiert und dokumentiert. 

9 Findings so far with the Test and Injection System/Block Backfilling

The test and injection system has already been installed in keeping with ZTV-ING in various road and rail tunnels. Leaks were determined in sections in practically all the tunnels after grouting the construction drainage system and following an increase in the groundwater level. In the process, water flows through the grouting hoses into the tunnel; the system's control function operated. However, it must be established that with regard to practice it is extremely difficult to produce a 100% pressure water-tight system with tunnel waterproofing membranes over the entire length of the tunnel. The greatest hazards resulting in damage are installing the reinforcement, the concreting process and uneven outer walls of the inner shell. According to the ZTV-ING the control and injection system must be retained so that possible damage to the waterproofing can be identified and repaired during the course of the structure's life cycle. A waterproofing system, which leaks prior to the tunnel being accepted, can however scarcely be repaired without closing the existing grouting ports of the test and injection system or carrying out injections via the grouting ports. In such a case the ongoing control function can no longer be assured.

Findings for the scheduled backfilling of tunnel blocks are available. The data base reveals that once these tunnels have been backfilled they are tight. For example block backfilling in the Brixlegg Tunnel in Austria was undertaken over a total length of some 5.5 km in the main tunnel and the evacuation tunnel. No leaks worth mentioning occurred in these sections once the underground water level settled (maximum permanent water pressure ca. 5 bar), Backfilling technology was in this case analysed and documented in a diploma thesis [13]. 

Literatur/References

- [1] Arbeitskreis Tunnelabdichtung e.V., <http://www.akta-ev.de/de/tunnelsysteme/system1.html>
- [2] Bilfinger Berger AG, Zentrales Labor für Baustofftechnik, Bericht: Impact Echo
- [3] Boehning M., Robertson D., Schroeder H.F. 2008, Autoclave testing a new Approach for the Evaluation of Oxidative Long-Term Resistance of Geosynthetics. Proceeding EuroGeo4, Edinburgh
- [4] tBU Newsletter 17. www.tBU-gmbh.de 2008, Prüfungen zur Langzeitbeständigkeit von Geokunststoffen im Autoklaven (testing of durability of geosynthetics by autoclave tests)
- [5] ZTV-ING Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5: Tunnelbau, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch-Gladbach, 2007
- [6] Deutsche Bahn AG 2007, Guideline 853.4101 Waterproofing and Drainage DVS (German Plastic Welding Association) 2011, DVS 2225-5 Welding of thermoplastic membranes in tunnel constructions
- [7] Timothy D. Stark, Hangseok Choi, Patrick W. Diebel, Plasticiser Molecular weight and plasticizer retention in PVC Geomembranes, 57th Canadian Geotechnical Conference
- [8] Bindschedler, Urs; Permanence of flexible Waterproofing Systems, 1999
- [9] NAUE GmbH & Co.KG, Tunnel Construction, 2008
- [10] Technische Vertragsbedingungen Tunnelbau RVS 8T, FSV, 1. August 2004
- [11] N. Komma, Tunnel Jg. 23, Nr. 6, 2004. Seite 48-55, Druckwasserhaltende Tunnel
- [12] N. Komma, Tunnel Jg. 20, Nr. 8, 2001. Tunnelabdichtung: Erkenntnisse aus der NBS Köln – Rhein/Main
- [13] S. Zauner, Diplomarbeit zu „Untersuchungen zum System druckwasserdichter Innenschalenausbau“ Universität Innsbruck/A

Inserentenverzeichnis / Advertising list

Advertisers	Internet	Page
A.S.T. Bochum GmbH, Bochum/D	www.astbochum.de	36
Babendererde Engineers GmbH, Bad Schwartau/D	www.babeng.com	61
BASF SE, Ludwigshafen/D	www.basf.com	U3
Bergmann Maschinenbau GmbH & Co. KG, Meppen/D	www.bergmann-dumper.de	59
Brugg Contec AG, Romanshorn/CH	www.bruggcontec.com	25
CREG TBM Germany GmbH, Erkelenz/D	www.creg-germany.com	69 + U4
DAST Media Kieliger, Horw/CH	www.tunnel-ventilation.net	64
EAB Elektroanlagenbau, Reinhausen/D	www.eabreinhausen.de	07
ELA GmbH, Haren/D	www.ela-container.de	65
Elkuch Bator AG, Herzogenbuchsee/CH	www.elkuch-bator.com	61
Fermacell GmbH, Duisburg/D	www.fermacell.de	17
FGU – Fachgruppe für Untertagebau, Esslingen/CH	www.swisstunnel.ch	67
Flexco Europe GmbH, Rosenfeld/D	www.flexco.com	55

Advertisers	Internet	Page
Gipo AG, Seedorf/CH	www.gipo.ch	35
Häny AG, Jona/CH	www.haeny.com	03
HBI Haerter AG, Zürich/CH	www.hbi.ch	55
Herrenknecht AG, Schwanau/D	www.herrenknecht.de	U2
Hodapp GmbH & Co. KG, Achern/D	www.hodapp.co.uk	31
Hölscher Wasserbau GmbH, Haren/D	www.hoelscher-wasserbau.de	57
Maschinen- und Stahlbau Dresden AG, Dresden/D	www.msd-dresden.de	10
Normet International Ltd., Hünenberg/CH	www.normet.com	06
Paschal-Werk G. Maier GmbH, Steinach/D	www.paschal.de	64
Peri GmbH, Weißenhorn/D	www.peri.com	33
Rascor International AG, Steinmaur/CH	www.rascor.com	05
Sika Schweiz AG, Aliva Equipment, Widen/CH	www.aliva-equipment.com	11
TechnoBochum, Bochum/D	www.techno-bochum.de	57
The Robbins Company, Kent/USA	www.TheRobbinsCompany.com	09 + 37

bau | | verlag

We give ideas room to develop

www.bauverlag.de

tunnel 34. Jahrgang / 34th Year
www.tunnel-online.info

Internationale Fachzeitschrift für
unterirdisches Bauen
International Journal for Subsurface
Construction
ISSN 0722-6241
Offizielles Organ der STUVA, Köln
Official Journal of the STUVA, Cologne

Bauverlag BV GmbH
Avenwedder Straße 55
Postfach/P.O. Box 120, 33311 Gütersloh
Deutschland/Germany

Chefredakteur / Editor in Chief:
Eugen Schmitz
E-Mail: eugen.schmitz@bauverlag.de

**Verantwortlicher Redakteur /
Responsible Editor:**
Marvin Klostermeier
Phone: +49 5241 80-88730
E-Mail: marvin.klostermeier@bauverlag.de

Redaktionsbüro / Editors Office:
Ursula Landwehr
Phone: +49 5241 80-1943
E-Mail: ursula.landwehr@bauverlag.de
Gaby Porten
Phone: +49 5241 80-2162
E-Mail: gaby.porten@bauverlag.de

Layout:
Nicole Bischof
E-Mail: nicole.bischof@bauverlag.de

Anzeigenleiter / Advertisement Manager:
Erdal Top
Phone: +49 5241 80-2179
E-Mail: erdal.top@bauverlag.de
(verantwortlich für den Anzeigenteil/
responsible for advertisement)
Rita Srowig
Phone: +49 5241 80-2401
E-Mail: rita.srowig@bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-62401
Maria Schröder
Phone: +49 5241 80-2386
E-Mail: maria.schroeder@bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-62386

Gültig ist die Anzeigenpreisliste Nr. 32
vom 1.10.2013
Advertisement Price List No. 32
dated 1.10.2013 is currently valid

Auslandsvertretungen / Representatives:
Frankreich/France:
16, rue Saint Ambroise, F-75011 Paris
International Media Press & Marketing,
Marc Jouanny
Phone: +33 (1) 43553397,
Fax: +33 (1) 43556183,
Mobil: +33 (6) 0897 5057,
E-Mail: marc-jouanny@wanadoo.fr

Italien/Italy:
Vittorio Camillo Garofalo
ComediA di Garofalo, Piazza Matteotti, 17/5,
I-16043 Chiavari
Phone: +39-0185-590143,
Mobil: +39-335 346932,
E-Mail: vittorio@comediasrl.it
USA/Canada:
Detlef Fox, D. A. Fox Advertising Sales, Inc.
5 Penn Plaza, 19th Floor, New York, NY 10001
Phone: 001-212-896-3881,
Fax: 001-212-629-3988,
E-Mail: detleffox@comcast.net

Geschäftsführer / Managing Director:
Karl-Heinz Müller
Phone: +49 5241 80-2476

Verlagsleiter / Publishing Director:
Markus Gorisch
Phone: +49 5241 80-2513

**Abonnentenbetreuung & Leserservice /
Subscription Department:**
Abonnements können direkt beim Verlag oder
bei jeder Buchhandlung bestellt werden.
Subscriptions can be ordered directly from the
publisher or at any bookshop.

Bauverlag BV GmbH
Postfach/P.O. Box 120, 33311 Gütersloh
Deutschland/Germany
Phone: +49 5241 80-90884
E-Mail: leserservice@bauverlag.de
Fax: +49 5241 80-690880

**Marketing & Vertrieb /
Subscription and Marketing Manager:**
Michael Osterkamp
Phone: +49 5241 80-2167
Fax: +49 5241 80-62167

Bezugspreise und -zeit / Subscription rates and period:

Tunnel erscheint mit 8 Ausgaben pro Jahr/
Tunnel is published with 8 issues per year.
Jahresabonnement (inklusive Versandkosten)/
Annual subscription (including postage):
Inland / Germany € 161,00
Studenten / Students € 97,00
Ausland / Other Countries € 171,00
Einzelheft / Single Issue € 26,00
(inklusive Versandkosten / including postage)
eMagazine € 98,50

Mitgliedspreis STUVA / Price for STUVA members
Inland / Germany € 121,00
Ausland / Other Countries € 129,00

**Kombinations-Abonnement Tunnel und THIS
jährlich inkl. Versandkosten:**
€ 212,20 (Ausland: € 218,80)

**Combined subscription for
Tunnel + THIS including postage:**
€ 212,20 (outside Germany: € 218,80).
(die Lieferung per Luftpost erfolgt mit Zu-
schlag/with surcharge for delivery by air mail)
Ein Abonnement gilt für ein Jahr und verlängert
sich danach jeweils um ein weiteres Jahr, wenn
es nicht schriftlich mit einer Frist von drei Mona-
ten zum Ende des Bezugszeitraums gekündigt
wird. The subscription is initially valid for one
year and will renew itself automatically if it is not
cancelled in writing not later than three months
before the end of the subscription period.

Veröffentlichungen:

Zum Abdruck angenommene Beiträge und
Abbildungen gehen im Rahmen der gesetz-
lichen Bestimmungen in das alleinige Veröffent-
lichungs- und Verarbeitungsrecht des Verlages
über. Überarbeitungen und Kürzungen liegen
im Ermessen des Verlages. Für unaufgefordert
eingereichte Beiträge übernehmen Verlag und
Redaktion keine Gewähr. Die Rubrik „STUVA-
Nachrichten“ liegt in der Verantwortung der
STUVA. Die inhaltliche Verantwortung mit Na-
men gekennzeichnete Beiträge übernimmt
der Verfasser. Honorare für Veröffentlichungen
werden nur an den Inhaber der Rechte gezahlt.
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Bei-
träge und Abbildungen sind urheberrechtlich
geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zuge-
lassenen Fälle ist eine Verwertung oder Ver-
vielfältigung ohne Zustimmung des Verlages
strafbar. Das gilt auch für das Erfassen und
Übertragen in Form von Daten. Die allge-
meinen Geschäftsbedingungen des Bauverlages
finden Sie vollständig unter www.bauverlag.de

Publications:

Under the provisions of the law the pub-
lishers acquire the sole publication and pro-
cessing rights to articles and illustrations
accepted for printing. Revisions and ab-
ridgements are at the discretion of the
publishers. The publishers and the editors
accept no responsibility for unsolicited ma-
nuscripts. The column "STUVA-News" lies in the
responsibility of the STUVA. The author assumes
the responsibility for the content of articles id-
entified with the author's name. Honoraria for
publications shall only be paid to the holder
of the rights. The journal and all articles and
illustrations contained in it are subject to copy-
right. With the exception of the cases permitted
by law, exploitation or duplication without the
content of the publishers is liable to punish-
ment. This also applies for recording and tran-
smission in the form of data. The general terms
and conditions of the Bauverlag are to be found
in full at www.bauverlag.de

Druck/Printers:

Merkur Druck, D-32758 Detmold

Kontrolle der Auflagenhöhe erfolgt durch die
Informationsgemeinschaft zur Feststellung der
Verbreitung von Werbeträgern (IVW) Printed
in Germany
H7758

