

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 50

**Artikel:** Ausführung von Tunnelabdichtungen  
**Autor:** Zwicky, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76774>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Ausführung von Tunnelabdichtungen

Von Peter Zwicky, Sarnen

Von den zahlreichen Aspekten, mit denen man sich unter dem Titel «Tunnelabdichtungen» befassen kann, werden die Drainage und die Dichtungsbahn eingehender behandelt, d.h., die Flächendrainage, die Bergwasserdrainage, Kontroll- und Reinigungsschächte, die Bergwasserinne sowie die Haupt- und Soleentwässerung als Bestandteile der Drainage im Tunnelbau sowie das «Tapezieren» der Dichtungsbahnen, die Übertragung der Druckkraft und Erfahrungen mit Dichtungsbahnen beschrieben. Als spezielle Drainmatten werden Polypropylen- und Polyestervlies empfohlen, bei der Verlegung der Dichtungsbahnen wird auf die Verlegung in den Vertiefungen besonders hingewiesen.

## Grundlagen der Drainage

Zu der Aussage «Die dauernd einwandfrei funktionierende Drainage ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Abdichtung» gehören zwei einschränkende Bemerkungen:

□ Sie gilt selbstredend nicht für Verhältnisse mit Druckwasser. Wenn das Wasser aus dem Gebirge nicht abgeleitet werden kann oder soll, liegen die Verhältnisse grundsätzlich anders. Darauf wird hier nicht näher eingegangen.

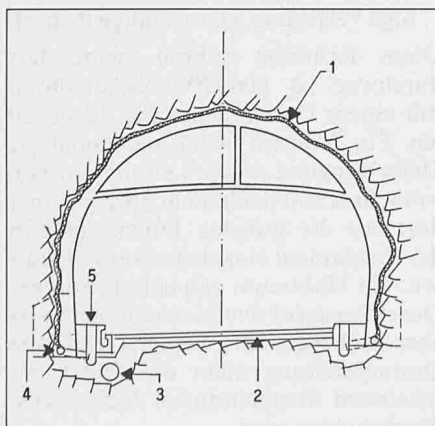
□ Ebenso wenig wird hier das Thema des wasserundurchlässigen Betons behandelt. WU-Beton kann eine Alternative sein, er findet aber in der Schweiz vor allem im Strassentunnelbau nicht häufig Verwendung. Weil Geotextilien nur in Verbindung mit flexiblen Dichtungsbahnen eine Bedeutung im Tunnelbau haben, beschränkt sich der Autor hier auf Abdichtungen nach diesem Verfahren.

## Bestandteile der Drainage im Tunnelbau

### Flächendrainage

Zwischen dem Untergrund, auf dem die Abdichtung aufgebracht wird, und

Bild 1. Elemente der Tunnelentwässerung; 1 Vorabdichtung mit Drain, Spritzbetonausgleich, Flächendrainage und Abdichtung; 2 Filterschicht zu Soleentwässerung; 3 Hauptentwässerungsleitung; 4 Bergwasserdrainage mit Kontroll- und Reinigungsschächten, 5 offene Bergwasserinne



der Dichtungsbahn wird eine Ausgleichs- und Drainageschicht verlegt (Bild 1).

Ihr Name deutet auf die Funktionen dieser Zwischenschicht hin:

- Schutz der Dichtungsbahn vor Perforationen,
- Flächenentwässerung.

Die Dichtungsbahnen aus Kunststoff können bei zu rauhem Untergrund beim Auftreten von Druckkräften - Betondruck beim Betonieren des Innengewölbes und Gebirgsdruck - beschädigt werden.

Zwischen dem Untergrund und der Dichtungsbahn muss eine möglichst hohlraumreiche Zwischenschicht für die drucklose Ableitung des Bergwassers sorgen, sonst besteht die Gefahr von Sohleauftößen und Aufsteigen des Wassers in Ringfugen. Diese beiden Anforderungen an die Zwischenschicht führen zu gegensätzlichen Eigenschaften:

- möglichst dichtes Gefüge für den Schutz der Dichtungsbahn,
- möglichst lockeres, jedoch stabiles Gefüge für die Entwässerung.

Weitere Forderungen an diese Schicht sind die Eigenschaften

- reissfest, flexibel, dehnbar, verrotungsfest, schwer brennbar.

Wenn man sich fragt, welche Materialien diese Forderungen am zweckmässigsten erfüllen, dürfte ein Blick in die Entwicklung der Tunnelabdichtungen mit Kunststoffbahnen nützlich sein: Die ersten Tunnelabdichtungen mit Kunststoff-Dichtungsbahnen wurden ohne eine solche Zwischenschicht ausgeführt (Beispiel Belchen 1966). Das Ergebnis war unbefriedigend; noch heute sind die negativen Auswirkungen zu spüren. Danach baute man in der Schweiz in den Jahren 1968-1978 Polyäther-Schaumstoffe 10 mm mit unterschiedlichem Erfolg ein (Gotthard, Rugen, Reussport, Sonnenberg).

In Österreich wurden dagegen anfänglich PVC-Regenerat (Abfall)-Folien mit gutem Erfolg eingebaut (Mauth, Pass Lueg, Tauern, Katschberg). Der Erfolg dieser Regeneratfolien beruht einer-

seits auf ihrer guten Schutzwirkung bei Spritzbeton-Untergrund mit Korngrösse 0 bis 16 mm, andererseits bildet gerade diese raue Spritzbetonoberfläche genügend Hohlraum für die Entwässerung.

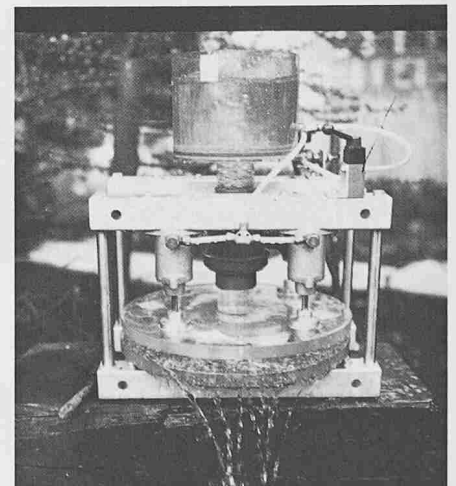
1972 traten Geotextilien in Erscheinung. Sie wurden eingehend auf ihre Schutzwirkung geprüft, während die Drainagewirkung damals als weniger bedeutsam eingestuft wurde.

In Österreich wurden - und werden noch - praktisch alle Tunnelabdichtungen mit Polypropylenvliesen, meist 500 g/m<sup>2</sup>, ausgeführt, ebenso in der Bundesrepublik Deutschland (z.B. Neubaustrecken der DB Hannover-Würzburg und im Strassentunnelbau). Die Erfolge sind meistens gut, wenn es auch Ausnahmen gibt bei starkem Wasseranfall; als negative Beispiele seien Arlberg und Dalaas erwähnt.

In der Schweiz nahm die Entwicklung einen anderen Verlauf. Seit 1978 werden hier praktisch ausschliesslich Nylon-Strukturmatten (Produkt Enkamatt) oder grobfaserige Polypropylenmatten (Produkt FLN-Superdrain) verwendet. Die Erfolge sind durchschlagend. Musste man früher vor der Verwendung dieser speziell auf gute Drainagewirkung ausgelegten Materialien noch mit einer Infiltration in den Tunnel auf 5000 bis 10 000 m<sup>2</sup> Abdichtungsfläche rechnen, gibt es heute solche Infiltrationen praktisch nicht mehr. Die Fläche der mit Drainmatten ausgeführten Tunnelabdichtungen dürfte etwa 800 000 m<sup>2</sup> betragen.

In den Tunnels mit Tübbing-Auskleidung hat das normale Vlies, meist direkt auf die Dichtungsbahn kaschiert, seine Bedeutung behalten. Dort übernimmt der Hohlraum der Tübbingfuge die Entwässerungsfunktion, so dass die Zwischenschicht nur noch Ausgleichsfunktion hat (Rosenberg, Gubrist, Stich, Quarten).

Bild 2. Testgerät der Enka AG, Wuppertal



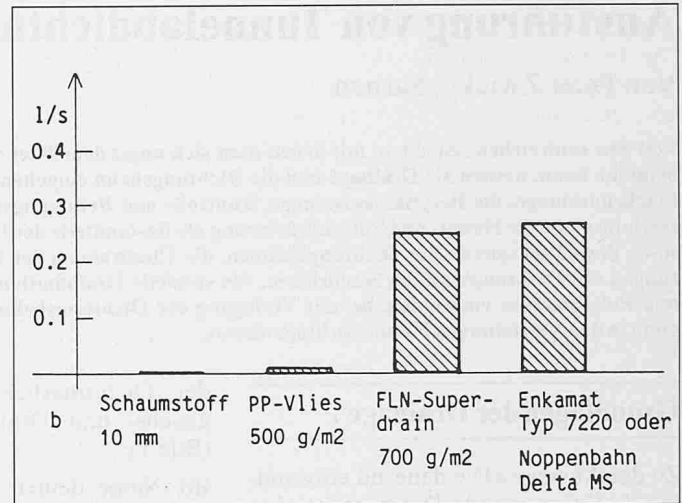
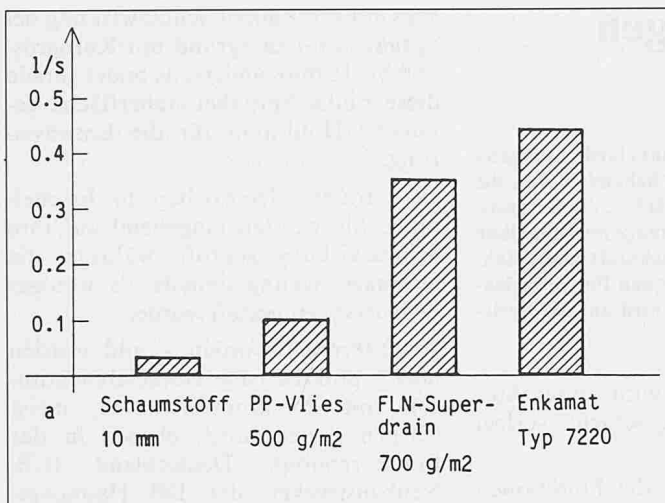


Bild 3 a und b. Vergleich der Durchlässigkeiten verschiedener Zwischenschichtmaterialien nach Messung mit dem Testgerät nach Bild 2, Belastung  $p = 1$  bar; a bei rauhem Untergrund (z.B. Spritzbeton); b bei glattem Untergrund (z.B. Schal- oder Tübbingbeton)

Bevor man sich – um 1978 – entschloss, die teureren Drainagematten zu verwenden, wurden auch da mit von der Industrie entwickelten Testgeräten die Wirkungsweisen unter möglichst wirklichkeitsgetreuen Gegebenheiten getestet (Bilder 2 und 3). Weitere ähnliche Testgeräte sind bei verschiedenen Prüfinstituten in Betrieb. Gemessen und verglichen wird die Wassertransportkapazität  $k$  in der Vlies-Ebene unter einer bestimmten Druckspannung, meist  $0,2 \text{ N/mm}^2$ , und mit verschiedenen Verschmutzungsgraden. Dabei spielt der letzterwähnte Faktor eine unterschiedlich eingeschätzte Rolle, da noch wenig erforscht ist, welche Bedeutung die sogenannte Versinterung, das Zusetzen der Vliese und damit die Langzeit-Drainagewirkung, tatsächlich hat.

Bei Untersuchungen mit Materialien aus dem Arlbergtunnel ist ein Anstieg des  $k$ -Wertes um etwa 80% nach zwölfjährigem Einsatz gemessen worden, was als verhältnismässig gering eingeschätzt wird. Die Vorstellungen über die Forderungen, welche die Drainmatten zu erfüllen haben, sind ähnlich:

Das Geotextil-Handbuch setzt den  $k$ -Wert bei  $10^{-4}$  bis  $10^{-5} \text{ m/s}$  an, in österreichischen Richtlinien findet man  $10^{-4} \text{ m/s}$ . In der Bundesrepublik Deutschland scheint sich eher der Begriff «Transmissivität» durchzusetzen, wobei  $\theta = k \cdot d$  ist. Dabei ist  $d$  die Dicke der Drainmatte unter einem bestimmten Druck.

Empfehlungen für eine bestimmte Produktgruppe bei Drainmatten lassen

sich aus diesen Angaben nicht ableiten, zu unterschiedlich sind die Verhältnisse im einzelnen Bauwerk, beispielsweise die Spritzbetondicke – Spritzbeton kann als der wichtigste «Sinterspender» angesehen werden –, der Wasseranfall – auch temporär – und die chemische Zusammensetzung, die Gebirgsverhältnisse usw.

Langfristig wird sich die Verwendung einer teureren, aber eine höhere Drainleistung aufweisenden Drainmatte vermutlich lohnen, gilt es doch zu bedenken, dass eine Tunnelabdichtung nur einmal erstellt werden kann. Ein Ersatz, wie zum Beispiel im Brückenbau möglich, ist hier ausgeschlossen. Somit dürften sich anfänglich höhere Investitionen langfristig günstig auswirken.

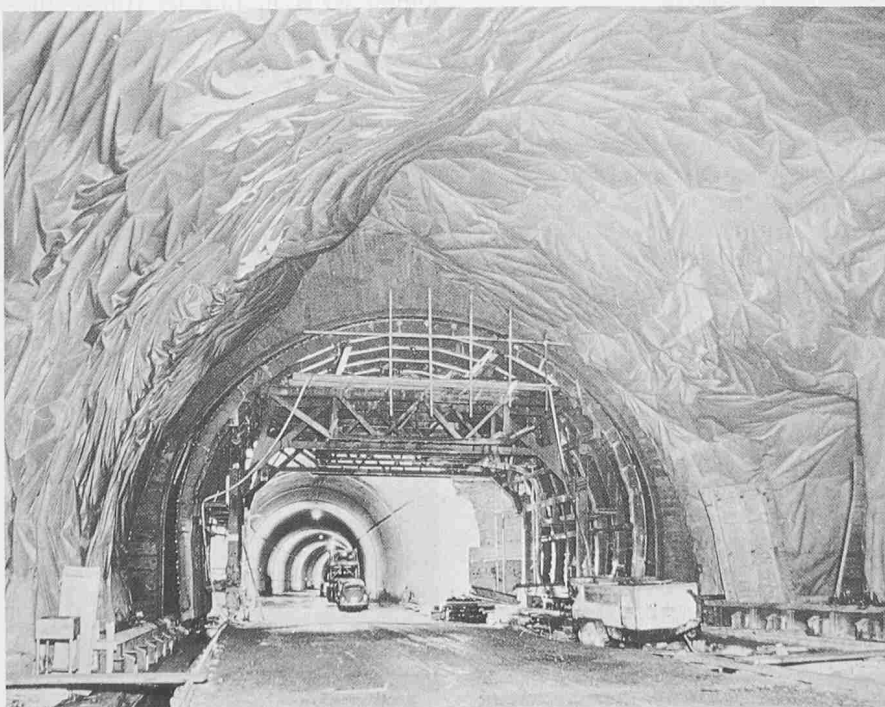
### Bergwasserdrainage

Am Gewölbefuss angeordnet, nimmt die Bergwasser-Drainageleitung das von der Flächendrainage oder auch von einzelnen Abschlauchungen und Drainagerinnen herangeführte Bergwasser auf. Dabei sind wichtig:

- das Schluckvermögen (Eintrittsöffnungen möglichst gross),
- die Transportkapazität (Durchmesser, Gefälle?),
- der Unterhalt, die Reinigung (gradlinige Verlegung, glattwandige Rohre).

Diese Kriterien führen heute fast durchweg zu Hart-PVC-Sickerrohren mit einem Durchmesser von 15 bis 20 cm. Ein Problem bietet manchmal die Unterbringung dieser Leitung am Gewölbefuss, soll doch nicht ausgerechnet dort, wo die grössten Druckkräfte in das Fundament eingeleitet werden müssen, ein Hohlraum geschaffen werden. Durch konstruktive Massnahmen muss aber sichergestellt werden, dass die Drainageleitung nicht das Opfer anscheinend übergeordneter Sicherheitsüberlegungen wird.

Bild 4. Anbringen der Dichtungsbahnen



### Kontroll- und Reinigungsschächte

Die Bergwasserdrainage kann, besonders bei dicken Spritzbetonschichten des Aussengewölbes, rasch versintern und muss deshalb periodisch vom Unterhaltsdienst gereinigt werden. Dafür müssen die Kontroll- und Reinigungsschächte gut zugänglich und in Abständen von höchstens 50 m angeordnet sein.

### Bergwasserrinne

Eine offene Rinne – innerhalb Abdichtung/Entwässerung – nimmt das in die und unter der Bergwasser-Drainageleitung eindringende Wasser auf und bietet so eine weitere Entlastungsmöglichkeit gegen Wasserdruck. Sie ist vom Tunnelinnern her zugänglich und damit leicht zu reinigen.

### Haupt- und Sohleentwässerung

Schliesslich muss auch die Hauptentwässerungsleitung den Verhältnissen entsprechend dimensioniert und mit Kontrollschächten versehen sein. Bei besonderen Situationen kann die Ursache für einen Rückstau mit all seinen nachteiligen Folgen durchaus auch bei der ungenügenden Hauptentwässerung liegen, dies gilt zum Beispiel besonders für Tunnels in Moränen an Hanglagen oder im Karstgebirge. Gleiches gilt auch für die Sohleentwässerung.

### Erfahrungen mit Dichtungsbahnen

Dichtungsbahnen aus Kunststoff, normiert in SIA- und DIN-Normen, heute fast ausschliesslich aus PVC-weich, PE oder ECB hergestellt, haben seit 1966 eine weltweit erfolgreiche Verbreitung für Tunnelabdichtungen nach dem Verfahren der Punkt- oder Streifenbefestigung gefunden. Die Erfahrungen sind, wenn die angeführten Kriterien beachtet werden, durchaus positiv.

Nachstehend sollen zwei Aspekte etwas näher beleuchtet werden, welche bei der heutigen Betrachtungsweise der institutionellen Normierungs- und Prüfwelle etwas zu kurz zu kommen scheinen.

### Tapezieren der Dichtungsbahnen

Bei einem stark unebenen Spritzbetonuntergrund kann beim heutigen Konkurrenzdruck für den Verarbeiter einer

Tunneldichtungsbahn leicht die Versuchung entstehen, die Bahnen nicht in den Vertiefungen, sondern auf den Erhebungen, den sogenannten Bossen, zu befestigen. Damit lässt sich Material und Zeit sparen.

Eine solche Verlegearbeit enthält jedoch grosse Risiken: Begünstigung von Wassersackbildungen mit Abrissgefahr bei den Befestigungspunkten, erhöhte Beschädigungsgefahr beim Erstellen der Stirnschalung, eine kraftschlüssige Verbindung Aussen-Innengewölbe wird verhindert.

Auch wenn es Mühe macht und beispielsweise die durchgehende Druckluftprüfung der Schweissnähte damit nicht erreicht wird: Die Dichtungsbahn ist in die Vertiefungen hineinzulegen, man muss «tapezieren» (Bild 4). Man darf nicht den Blick für das Wesentliche verlieren: Schweissnähtprüfungen mit Druckluft sind wichtig, die Verhinderung von Beschädigungen der Dichtungsbahn beim Betonieren ist wichtiger! Auch eine allfällige Nachforderung der Unternehmen unter dem Titel «Auskleiden von geologisch bedingten Niederbrüchen» soll die Bauleitung nicht davon abhalten, auf diesem «Tapezieren» zu bestehen. Auch hier gilt: Die Abdichtung lässt sich nur einmal anbringen.

Starke Unebenheiten mit Spritzbeton auszugleichen, bringt Mehrkosten und erhöhte Versinterungsgefahr. Besser – und auch bei Nachforderungen auf die Dauer immer billiger – ist das saubere Auskleiden auch bei stark unebenem Untergrund.

### Übertragung der Druckkraft

Nicht klar sind manchmal die Vorstellungen über die Übertragungsmöglichkeiten von Druck- und Schubkräften vom Gebirge bzw. Aussenring auf den Innenring. Dass dabei nicht nur der Betoninnenring mehr in Mitleidenschaft gezogen wird als ursprünglich geplant, sondern vor allem auch die Kunststoff-Dichtungsbahn, liegt auf der Hand.

Die SIA-Norm 280 fordert für Kunststoff-Dichtungsbahnen einen Dauerdruck-Belastungswert von 7 N/mm<sup>2</sup> (Laborwert). Dieser an sich sehr hohe Wert wird relativiert durch die wirklichen Anforderungen:

- Wenn der Innenring in einem abgedichteten Bereich Risse aufweist, dürfte nur Bergdruck dafür die Ursache sein, sind doch Rissbildungen aus dem Schwinden in abgedichteten Bereichen praktisch ausgeschlossen.

Die spezifischen Belastungen dürften dabei den angeführten Grenzwert durchaus erreichen.

- Kommen zu diesen Druckbelastungen noch Schubbeanspruchungen, was wegen Bewegungen des Gebirges durchaus der Fall sein kann, wird die Dichtungsbahn bald einmal überbeansprucht.

Geotextilien, vornehmlich Vliese aus Polypropylen, eignen sich sehr gut als Polsterschicht für die relativ dünnen Dichtungsbahnen. In kritischen Bereichen soll ihr Flächengewicht von normalerweise 500 g/m<sup>2</sup> auf 800 oder 1000 g/m<sup>2</sup> erhöht werden, gegebenenfalls zusammen mit einer Drainagematte.

### Schlussbemerkungen

Geotextilien – Polyamid-Strukturmaten, Polypropylen- oder Polyestervliese als spezielle Drainmatte – eignen sich hervorragend als Ergänzungsmaterialien für Kunststoff-Dichtungsbahnen im Tunnelbau, aber auch sonst im Tiefbau und natürlich auch im Hochbau. Geotextilien und Kunststoff-Dichtungsbahnen sind Materialien, die einander ergänzen. Jede dieser Materialgruppen hat ihre Bedeutung, ihre Funktion, und es erscheint sinnvoll, wenn dies auch in der Sammelbezeichnung zum Ausdruck kommt.

Tunnel- und andere unterirdische Hohlraumbauten sind hochwertige Investitionsgüter, von denen die Benutzer möglichst ungestörte Nutzung und lange Gebrauchsdauer erwarten. Diese Bauten verdienen einen hochwertigen Schutz, der rechtzeitig geplant, sorgfältig ausgewählt und ausgeführt werden soll. Dafür bewähren sich

- dauerhafte Abdichtungen mit Kunststoff-Dichtungsbahnen zum Schutz des Bauwerks und seiner Benutzer,
- dauerhafter Schutz der Kunststoff-Dichtungsbahn mit Geotextil als Drainage- und Ausgleichsschicht.

Adresse des Verfassers: P. Zwicky, Ing. HTL, Ingenieurbüro für Abdichtungstechnik, Terrassenstr. 5, 6060 Sarnen.