

GOBIET, W., Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Österreich

## GEOTEXTILIEN IM UNTERTAGEBAU

### GEOTEXTILES IN TUNNEL CONSTRUCTION

### GEOTEXTILES DANS LES TRAVAUX SOUTERRAINS

Der Einsatz von Geotextilien im Untertagebau ist heute Stand der Technik.

Nach Angaben über die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten wird hauptsächlich die Schutz- und Dränfunktion von Geotextilien im Zusammenhang mit Flächenabdichtungen behandelt. Eine Tabelle über die hierfür notwendigen mechanischen, chemischen und hydraulischen Mindestanforderungen, sowie einige Erkenntnisse aus der praktischen Anwendung beschließen den Bericht.

The application of Geotextiles in tunnel constructions is technical level today.

After the representation of different applicabilities the protections - and drän - function of Geotextiles in connection with water proofing systems are described. A schedule for the mechanical, chemical and hydraulic minimum requirements as soon as some knowledge of practical use conclude the report.

Der Einsatz von Geotextilien ist aus dem Tunnelbau von heute nicht mehr wegzudenken. Vor allem die Eigenschaften Schützen und Dränen aber auch Trennen und Filtern sind es, die die Anwendung der Geotextilien in großem Umfang im Untertagebau begründen.

#### 1. ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Auf Bestandzeit des Bauwerkes:

- o Schutz- und Dränschichte bei Flächenabdichtungen gebirgsseitig vor der Isolierung.
- o Schutzschichte bei Flächenabdichtungen hohlraumseitig bei bewehrten Innenringen und Ankerbalken.
- o Schutz- und Dränschichten bei Abdichtungen von in offener Bauweise erstellten Tunnelröhren.
- o Trenn-, Gleit- und Dränschicht zwischen Ringbeton und Gebirge bzw. Spritzbeton.
- o Schutzschicht mit Rückprallverminderung bei isolierten Untertagebauten mit Spritzbetoninnengewölbe.
- o Schallabkoppelungs- bzw. Trennschicht im U-Bahnbau.

Während der Baudurchführung:

- o Schutzschicht für Abdichtungen gegen die Stirnschalung am Ende von Betonierabschnitten.
- o Einsatz als "Kontraschalung" für in offener Bauweise hergestellter Spritzbetongewölbe.
- o Dämmschicht auf Zwischendecken bei Einbau von wärmebehandeltem Beton.

#### 2. FLÄCHENABDICHTUNGEN

Zum wichtigsten und größten Anwendungsbereich zählt zweifelsfrei die Flächenabdichtung zwischen Gebirge und Innenbetonring (Abbildung 1). Der Abdichtungsaufbau setzt sich aus dem Abdichtungsträger (Spritzbeton), der darauf mit speziellen Rondellen befestigten geotextilen Schutzschicht und der auf den Rondellen verschweißten Dichtungsbahn zusammen.



Abbildung 1: Flächenabdichtung in einem Straßentunnel mit Schutzschichte und PVC-Dichtungsbahn

Die Konstruktion der Befestigungsmittel (Rondellen) ist primär von den Anforderungen an die Dichtungsbahn bestimmt. In der Regel werden ca. 3 Rondellen pro m<sup>2</sup> für die mit Überlappungsstößen lose verlegte Schutzschicht erforderlich sein.

Als Vorläufer zu den heute verwendeten Schutzschichten wurden Regeneratunterlagen eingesetzt, die jedoch bedeutend schlechtere Schutzeigenschaften aufwiesen.

3. ANFORDERUNGEN

Generell müssen insbesondere an Geotextilien bei Flächenabdichtungen die Forderung des mechanischen Schutzes und der Dränwirkung in Geotextilebene gestellt werden.

Beide Forderungen sollten über die Bestandsdauer des Bauwerkes - bei Tunnelanlagen wird mit 100 Jahren gerechnet - erfüllt werden.

Während der permanente Schutz gegen mechanische Beschädigungen durch den rauhen Spritzbeton im Zuge des Betoniervorganges einerseits und andererseits aus Restverformungen des Gebirges oder aus Verschiebungen zufolge Kriechen, Schwinden und Temperaturänderungen des fertiggestellten Innenbetons durch zahlreiche Geotextilien erfüllt werden kann, ist die Behinderung der Dränwirkung durch Versinterungen nur eine Frage der Zeit.

Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, daß Vorabdichtungen bzw. Ableitungen größerer Wasserzutritte vorher vorgenommen werden und die seitlich angeordneten Ulmen-drainagen (aus Hart-PVC) dauerhaft ihre Funktion behalten (Putzöffnungen alle 50 m bis maximal 100 m).

Zur Einhaltung der Forderungen müssen von den Geotextilien die mechanischen, chemischen und hydraulischen Eigenschaften der Tabelle 1 eingehalten werden.

Tabelle 1: Mindestanforderungen an Geotextilien im Untertagebau

Eigenschaften		Prüfung nach	Werte	
Mechanische	Nennflächengewicht	DIN 53854	500 g/m <sup>2</sup>	700 g/m <sup>2</sup>
	Dicke	DIN 53855/3 bei 2,0 bar	1,8 mm	2,5 mm
	Stempeldurchdrückfestigkeit	DIN 54307	2800 N	3500 N
	Streifenzugfestigkeit	DIN 53857/2	800 N/5 cm	1000 N/5 cm
	Streifenzugdehnung min/max	DIN 53857	50 % / 130 %	50 % / 130 %
Chemische			voll beständig gegen Lösungen im p <sub>H</sub> - Bereich zwischen 2 und 13 bei Temperaturen von 0°C und 30°C	
Hydraulische	Wasserdurchlässigkeit in Vliesebene	Nach Franzius Institut Hannover	k = zwischen 10 <sup>-1</sup> und 10 <sup>-2</sup> cm/s; der Durchlässigkeitsbeiwert k ist an einem einlagig eingebauten 0,1 m breiten Prüfstück, welches senkrecht zur Vliesebene mit einem Druck von 2 bar beaufschlagt wird, bei einem hydraulischen Gefälle von I = 1,0 zu prüfen.	
	Faserart		Glatt, ungekräuselt, hydrophob (runder Querschnitt)	

3.1 Zu den mechanischen Eigenschaften:

Dicken verschiedener Geotextilien sind nur unter bestimmten Belastungen vergleichbar, wobei Restdicken unbedingt zu fordern sind.

Die Schalungsdrücke des Frischbetons im Untertagebau liegen nach Kurzmann (1) zwischen 0,9 bar horizontal und 1,68 bar vertikal.

Vergleichsmessungen z.B. zwischen Endlosfaserspinnvliesen aus Polypropylen und Monofilmaten aus Polyamid (Nylon) zeigen, wie aus Tabelle 2 ersichtlich, daß zwar die Dicken bei 0,02 bar Belastung erheblich differieren (Monofilmatte 17 mm, Polypropylenvlies 500 g/m<sup>2</sup> 3,9 mm) jedoch bereits bei 1 bar Belastung nahezu gleich sind.

Tabelle 2: Geotextildicken in Abhängigkeit von der Belastung

Belastung bar	Dicke mm	
	Polypropylenvlies 500 g/m <sup>2</sup>	Monofilmatte Nylon
0,02	3,9	17,0
1,00	2,2	2,5
2,00	1,8	2,0

Abgesehen davon zeigt die Monofilmatte im belasteten Zustand als "Drahtgebilde" kleine Löcher, die bei rauhen Spritzbetonoberflächen einen verminderten Schutz für Folienabdichtungen bedeuten können.

Die Geotextilien müssen, bezüglich Festigkeit und Dehn-

barkeit auf die Abdichtungsfolien abgestimmt sein und den Anforderungen auch bei hohem Druck genügen. Die Eigenschaften sollen nach Möglichkeit in alle Richtungen in Geotextilebene gleich sein (Gleichförmigkeit des Produktes).

### 3.2 Zu den chemischen Eigenschaften (2):

Die Schutzfunktion des Geotextils muß unbedingt auf Dauer gegeben sein, daher sind chemische Beständigkeit und Unverrottbarkeit notwendig.

Feuchter Spritzbeton weist  $p_H$ -Werte von ca. 12,0 auf Dauer auf. Versuche (Firma Hoechst) über die Restfestigkeit bei Langzeitlagerung von Polyester in Laugen (z.B. Kalziumhydroxid  $p_H$ -Wert 12,4) haben gezeigt, daß bereits nach 6 Monaten ein Abfall auf 29 % und nach 12 Monaten auf 0 % gegeben ist. Versuche mit Beton zeigten noch raschere Zerfallerscheinungen. Deshalb scheiden Faserrohstoffe aus Polyester für den Einsatz im Untertagebau praktisch aus (siehe auch Merkblatt der Deutschen Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen zur Anwendung von Geotextilien im Erdbau unter "Alterungsbeständigkeit").

Auch Naturfasern und Viskosefasern weisen keine Langzeitbeständigkeit auf. Hingegen zeigen Polypropylene keine Verminderung der Festigkeit in Kontakt mit Beton.

Gewisse Probleme jedoch bereitet die Lichtbeständigkeit, insbesondere beim Polypropylen. Durch den Einsatz von Stabilisatoren wird dem jedoch begegnet, trotzdem empfiehlt es sich, bei der Lagerung auf Beschädigung vor UV-Strahlen zu achten.

Die Geotextilien müssen auf Dauer kontaktverträglich mit den Abdichtungsfolien sein (keine Förderung des Auswanderns von Weichmachern aus den Abdichtungsfolien). Ebenso ist die unbedingte Umweltverträglichkeit zu gewährleisten (keine Beeinträchtigung des Bergwassers; Trinkwasserunbedenklichkeit).

### 3.3 Zu den hydraulischen Eigenschaften:

Im Hinblick auf die Vermeidung von Ablagerungen im Geotextil ist eine möglichst glatte Oberfläche der Fasern zu fordern. Trotzdem können die Geotextilien auf Dauer eine Versinterung nur verzögern, aber kaum verhindern. Diese hängt hauptsächlich von der Härte des Bergwassers, von der Kalkhaltigkeit der Zuschlagstoffe und dem freien Kalk aus dem Zement (Kalkhydrat) des Spritzbetons, sowie der Luftkohlenäure zusammen mit der Entspannung des Wassers ab. Je größer nun der Hohlraum des Geotextils ist, desto mehr Luftkohlenäure ist vorhanden und desto rascher schreitet die Versinterung voran.

Die Wasserdurchlässigkeit in der Vliesebene ist nur in den Bereichen der Schalungsdrücke von Bedeutung. Angaben von Herstellern im unbelasteten Zustand sind daher völlig uninteressant, da die Ableitkapazitäten mit zunehmendem Druck um ein Vielfaches sinken. Mechanisch verfestigte Vliese besitzen höhere Wasserdurchlässigkeiten als thermisch fixierte Vliese.

## 4. ERKENNTNISSE AUS DER PRAXIS

Die Praxis hat gezeigt, daß die Gestaltung und Ausführung der Spritzbetonoberflächen sehr oft zu heftigen Diskussionen im Hinblick auf die Abrechnung und Gewährleistung für die Flächenabdichtungen führen.

Ein Abgehen von der theoretischen Abrechnung erscheint in der Regel nicht zweckmäßig, wohl aber eine Erhöhung der Vliesstärken und damit des Flächengewichtes.

Die Mehrkosten für höhergrammige Geotextilien stehen in keinem Verhältnis zu den Kosten einer zusätzlichen Spritzbetonausgleichsschicht.

Können bei Vliesen Kosten von ca. S 60,-- pro kg ange-

geben werden (d.h. bei einem 500 g/m<sup>2</sup> Vlies ca. S 30,-- pro m<sup>2</sup>; für Monofilmaten aus Nylon liegt der Preis etwa doppelt so hoch), so bewegen sich die Kosten für 5 cm Spritzbeton bei ca. S 200,-- pro m<sup>2</sup>.

Allgemein sollten keine Schutzvliese im Zusammenhang mit Flächenabdichtungen unter 500 g/m<sup>2</sup> verwendet werden.

Die wirtschaftliche Grenze der Erzeugung einschichtiger Endlosfaserkonstruktionen liegt bei etwa 700 g/m<sup>2</sup>. Darüber können mehrschichtige Geotextilien (Verbundvliese) eingesetzt werden, wobei ein Endlosfaservlies als Träger fungieren sollte; die gewünschte Zusatzstärke kann mit Stapelfasern vernadelt werden. Die geforderten Mindesteigenschaften sind auch bei diesen Ausführungen einzuhalten. Als oberste Grenze der Vliesflächengewichte gelten ca. 2.000 g/m<sup>2</sup>.

In Schächten ist die Verwendung von Schutzvliesen mit 1.000 g/m<sup>2</sup> zu empfehlen.

Die angeführten Flächenabdichtungen haben sich nicht nur in Bereichen nicht drückenden Wassers bewährt, sondern wurden als umlaufende Konstruktion auch in Tunnelabschnitten mit Bergwasserdruck erfolgreich eingesetzt.

Gewisse Probleme für zahlreiche Geotextilien gibt es beim Brandverhalten (Brennbarkeit, Qualmentwicklung, Tropfbarkeit). Es sollte jedoch gelingen, die Brandklasse B 2 (normal entflammbar) nach DIN 4102, Teil 1, zu erreichen.

Auch ohne Folienabdichtung hat sich der Einsatz von Geotextilien als Gleit- und Dränschicht zwischen Innenringbeton und Gebirge bzw. Spritzbeton bewährt, da durch die gegenseitige Bewegungsmöglichkeit eine Reduktion der Schwindspannungsrisse, Temperaturspannungsrisse und Spaltrisse gegeben ist.

Diese Verwendung ist jedoch nur in Tunnelstrecken mit geringem Wasserandrang sinnvoll, zumal auch die Dränwirkung durch das Eindringen von Zementleim in den Vlieskörper vermindert wird, es sei denn, man verwendet spezielle Verbundkörper. Eine Versuchsstrecke mit Vlies ist beim Arlberg Straßentunnel West ausgeführt worden (3). Über den Erfolg liegen jedoch noch keine Veröffentlichungen vor. Hingegen sind beste Ergebnisse bei der Verwendung von Vliesen zur Trennung von Außen- und Innenschale beim Eichbergtunnel der DB-Neubaustrecke Hannover-Würzburg bekannt. Eine Ribbildung konnte durch diese Maßnahmen fast vollständig verhindert werden (4).

Aus den Erfahrungen bei zahlreichen österreichischen Tunnelbauten kann jedoch festgestellt werden, daß sich Flächenabdichtungen über die gesamte Tunnelstrecke immer bewährt haben. Diese Methode hat sich insgesamt immer noch als die wirtschaftlichste erwiesen, berücksichtigt man erforderliche Nacharbeiten bei nicht abgedichteten Strecken sowie den Betrieb und die Erhaltung von Untertagebauwerken. Sie ist auch kostengünstiger als eine Ausführung mit wasserundurchlässigem Beton wie Vergleichsrechnungen für Straßentunnel in Österreich gezeigt haben.

Aus den Vorschriften der Deutschen Bundesbahn (5) ist zu entnehmen: "Auch für die im Frost-Tauwechselbereich liegenden Tunnelabschnitte kann es ggf. empfehlenswert sein, eine besondere Abdichtung aus geeigneten Abdichtungstoffen dem wasserundurchlässigem Ortbeton vorzuziehen."

Nach dem derzeitigen Stand der Technik eignet sich vor allem Polypropylen für die Herstellung der Geotextilien für den Untertagebau.

Zur Gewährleistung einer gesicherten Qualität der Faserrohstoffe ist die Verwendung von Filament-Vliesstoffen (Endlosfaser) gegenüber Spinnfaser-Vliesstoffen (Stapel-fasern) vorzuziehen.

Ein Blick auf den Weltmarkt zeigt, daß mehr als die Hälfte der im Jahr 1985 verbauten Geotextilien aus Poly-

propylen mit Endlosfasern hergestellt waren.

Eine Bitte sei an dieser Stelle an alle Geotextilhersteller ausgesprochen:  
Gestalten Sie Ihre Unterlagen so, daß alle von gleichen Terminologien und Einheiten sprechen, so daß die verschiedenen Angaben auch für den Anwender (Kunden) sofort vergleichbar sind.

- (1) Bundesministerium für Bauten und Technik  
Schaden Karl Dipl.Ing. Dr., Wien,  
"Abdichtungssysteme in ausgeführten Tunnel"  
Forschungsvorhaben 919, Heft 274
- (2) Zitscher Fritz-Ferdinand Prof. Dr. Ing., Kiel,  
"Empfehlung für die Anwendung von Kunststoffen  
im Erd- und Wasserbau". Die Bautechnik, Heft 5,  
Mai 1982, Seite 145
- (3) Bilewicz Dieter Dipl.Ing., Innsbruck,  
"Kunststoffvliese - eine Alternative zur her-  
kömmlichen Tunnelisolierung"  
BM-Mitteilungen 1977
- (4) Semprich Stephan Dipl.Ing. Dr., Mannheim,  
"Untersuchungsergebnisse an Innenschalen aus  
wasserundurchlässigem Beton bei Tunnelbauwerken  
im Fels". Vortrag anlässlich der STUVA-Tagung 1985  
in Hannover
- (5) "Abdichtung von in Untertagebauweise hergestell-  
ten Eisenbahntunneln". Deutsche Bundesbahn  
DS 853/I Vorausgabe