

## **E 2-36 Oberflächenabdichtungssysteme mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen**

**(Entwurf)**

Stand: Bautechnik 2007

### **1 Allgemeines**

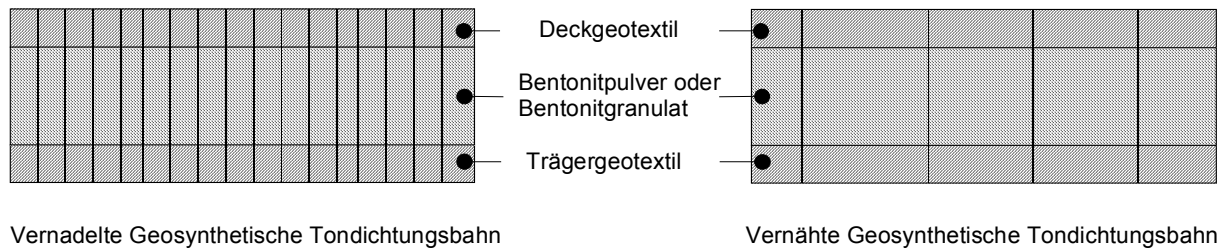
Die Empfehlung befasst sich mit den Aspekten, die bei der Verwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD bzw. Bentonitmatten) in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien zu beachten sind. Grundsätzliche Anforderungen an Wirksamkeit, Herstellung, Prüfung, Bemessung, Ausführung und Qualitätssicherung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen werden in den „Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen“ (EAG-GTD 2002) behandelt.

Als Regelabdichtungssysteme an der Oberfläche von Deponien waren bisher mineralische Abdichtungsschichten oder Kombinationsabdichtungen in Verbindung mit Entgasungs-, Entwässerungs- und Rekultivierungsschichten vorgesehen (vgl. E 2-4). Alternative Dichtungselemente sind möglich, wenn das damit hergestellte Abdichtungssystem seine Funktion langfristig einwandfrei erfüllt. Künftig wird eine erste und zweite Abdichtungskomponente unterschieden werden, wobei eine der Komponenten mineralisch sein kann. Eine Möglichkeit zur Herstellung alternativer Abdichtungssysteme bzw. mineralischer Abdichtungskomponenten liegt in der Verwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen als teilweiser oder auch vollständiger Ersatz für lagenweise, erdbautechnisch eingebaute mineralische Abdichtungsschichten.

### **2 Aufbau geosynthetischer Tondichtungsbahnen**

Im Deponiebau kommen industriell gefertigte, dünnsschichtige geosynthetische Tondichtungsbahnen zum Einsatz. Diese bestehen als mechanisch erzeugtes Verbundsystem aus:

- einer oder mehreren pulverförmigen oder granulierten Bentonitschichten zwischen zwei oder mehreren miteinander vernadelten Geotextillagen
- einer Schicht aus pulverförmigem oder granuliertem Bentonit zwischen zwei oder mehreren Geotextilien, die miteinander vernäht sind (Bild 2-36.1).



Vernadelte Geosynthetische Tondichtungsbahn

Vernähte Geosynthetische Tondichtungsbahn

Bild 2-36.1. Aufbau von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (EAG-GTD 2002)

Die Verbundstruktur verhindert eine Umverteilung des Bentonits durch äußere mechanische Einwirkungen im Verarbeitungs- und Gebrauchszustand. Die Dicken der Produkte bewegen sich im trockenen Zustand im Bereich von 5 mm bis 10 mm und weisen 4 bis 10 kg Bentonit pro m<sup>2</sup> auf. Material- und Systemanforderungen an Geotextilien, Bentonit und den Verbund werden in den EAG-GTD-Empfehlungen gestellt.

Als Abdichtungsmaterial wird Natrium- oder Calciumbentonit verwendet. Ihre dichtende Eigenschaft erlangen geosynthetische Tondichtungsbahnen durch Hydratation des Bentonits bei Wasserzutritt unter Auflast und unter der Geotextil-Verbundwirkung.

Die Geotextil-Verbundwirkung dient gleichzeitig der langfristig standsicheren Übertragung der Schubkräfte auf Böschungen. Als Geokunststoffkomponenten kommen Vliesstoffe, Gewebe und Vliesstoff-Gewebe-Kombinationen zum Einsatz.

### 3 Eigenschaften und Wirkungsweise geosynthetischer Tondichtungsbahnen

#### 3.1 Dichtungswirkung bei Ionenaustausch

Mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen kann aufgrund des sehr geringen Durchlässigkeitsbeiwertes des gequollenen Bentonits im Vergleich zu mineralischen Dichtungstoffen eine gleichwertige Dichtungswirkung bei geringerer Schichtdicke erzielt werden.

Die Dichtwirkung geosynthetischer Tondichtungsbahnen ist unmittelbar an den Wasserhaushalt und das feuchte Milieu der Umgebung gebunden. Darüber hinaus ist sie von der Auflast und der Bentonitmenge abhängig.

Für den Nachweis der Abdichtungswirkung geosynthetischer Tondichtungsbahnen wird die Permittivität  $\Psi$  (1/s) des Produktes im Labor (Durchlässigkeitsversuch) bestimmt. Die Permittivität ist definiert als das Wasservolumen, das in Abhängigkeit von der Auflast pro Zeiteinheit, Höhendifferenz und Flächeneinheit durch die geosynthetische Tondichtungsbahn hindurchtritt. Es ist die auf die Dicke der Abdichtung bezogene Wasserdurchlässigkeit.

$$\psi = \frac{V\omega}{\Delta t \cdot \Delta h \cdot A} = \frac{k}{d}$$

$\psi$	Permittivität [1/s]
$V_w$	Wasservolumen [m <sup>3</sup> ]
$\Delta t$	Messzeitspanne [s]
$\Delta h$	Differenz der Standrohrspiegelhöhen [m]
$A$	Querschnittfläche [m <sup>2</sup> ]
$k$	Wasserdurchlässigkeitsbeiwert senkrecht zur Schichtebene [m/s]
$d$	Schichtdicke [m]

Bei Langzeitanwendungen von Natriumbentonit ist von einem vollständigen Ionenaustausch von Natrium gegen bevorzugt Calciumionen auszugehen. Infolge Ionenaustausch nimmt die Wasserdurchlässigkeit bzw. Permittivität erfahrungsgemäß um eine halbe bis eine Zehnerpotenz zu. Für Sickerprognosen sind im Einzelfall produktspezifische Nachweise durch herstellerunabhängige Fachleute zu führen.

### 3.2 Dichtungswirkung bei Trockenstresseinwirkung

Für das Erzielen und Aufrechterhalten der Dichtwirkung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen ist grundsätzlich ein Mindestwassergehalt von etwa  $w = 100\%$  erforderlich. In der Regel jedoch ist die geosynthetische Tondichtungsbahn in einem Deponieoberflächenabdichtungssystem von Böden umgeben, die sich in teilgesättigten Zuständen befinden bzw. in denen nur zeitweise mit dem Anfall von freiem Wasser zu rechnen ist. In Abhängigkeit von den örtlichen klimatischen Verhältnissen, dem Wasserhaushalt des jeweiligen Dichtungssystems und der Wurzelentwicklung des Bewuchses sind Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsbeanspruchungen zu beachten, die zu wechselnden Wassergehalten im Bentonit führen. Falls parallel zur Trockenstresswirkung Ionenaustauschvorgänge bereits vollzogen wurden, kann es dabei zu Strukturbildungen im Bentonit kommen, die eine Erhöhung der Permittivität des Produktes bewirken.

Ursächlich hierfür ist die Eigenschaft, dass die Wasserabgabe und Wasseraufnahme von Bentoniten einer Hysterese unterliegen, die eine vollständige, alleinige Rückquellung bis zum ursprünglichen Volumen vor der Schrumpfung verhindert. Einhergehend mit der Wasseraufnahme findet jedoch eine Plastifizierung des Bentonits und eine Abnahme der Festigkeit statt. In Verbindung mit der Auflast aus überdeckenden Bodenschichten – in der Regel Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht – führt diese Plastifizierung zu einer Annäherung der durch Trockenstresseinwirkung entstehenden Rissufer. Dieser Prozess verläuft auflast- und zeitabhängig und führt innerhalb weniger Tage zu einer Verbesserung der Dichtungswirkung nach Trockenstress (EGLOFFSTEIN 2000).

Unter den Randbedingungen, dass geosynthetische Tondichtungsbahnen keine Trockenstressschädigung während der Verlegephase durch unzureichende Überschüttung erlitten haben und dass sie mit Erdstoffen in einer Mächtigkeit überdeckt sind, die einer Mindestauflast von 20 kPa entspricht, belegen langjährige Labor- und Feldversuche, dass geosynthetische Tondichtungsbahnen ein zuverlässiges Selbstheilungsvermögen nach Wiedervernässung besitzen (REUTER 2006).

### **3.3 Langzeit-Schubkraftübertragung der geotextilen Komponenten**

Die auf Deponieböschungen wirkenden hangabwärts gerichteten Schubkräfte müssen über die Geokunststoffkomponenten in den die Auflagerschicht abgetragen werden. Eine mittragende Wirkung des Bentonits wird in den geotechnischen Standsicherheitsnachweisen nicht angesetzt. Vor diesem Hintergrund müssen die eingesetzten Geotextilien eine ausreichende Zugfestigkeit über die vorgesehene Nachweisdauer besitzen.

Die in den abfallrechtlichen Verfahren des Deponiebaus üblicherweise anerkannten Zulassungen für Geokunststoffe der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) gehen von einer nachzuweisenden Mindestfunktionsdauer von  $\geq 100$  Jahren aus. Entsprechende produktspezifische Nachweise zur Langzeit-Schubkraftübertragung der geotextilen Komponenten werden bei der BAM und dem Süddeutschen Kunststoffzentrum durchgeführt. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen den geprüften Produkten bei Böschungsneigungen bis  $1:n = 1:3$  mechanische Funktionsdauern von (mindestens) mehreren Jahrhunderten.

Analog zur Verfahrensweise bei Kunststoffdichtungsbahnen wird die ausschließliche Verwendung entsprechend geprüfter und bestätigter Produkte empfohlen.

## **4 Entwurfsgrundsätze**

Geosynthetische Tondichtungsbahnen unterscheiden sich von den mineralischen Abdichtungsschichten in verschiedener Hinsicht, was beim Entwurf Oberflächenabdichtungssysteme zu berücksichtigen ist.

Zur Entwurfsplanung gelten bezüglich Inhalt und Aufbau die Hinweise der E 2-1 und E 2-4. Die Wirksamkeit des vorgesehenen Abdichtungssystems ist für alle Betriebszustände für jedes Bauvorhaben nachzuweisen. Das Abdichtungssystem kann als ausreichend sicher angesehen werden, wenn es die projektspezifischen Anforderungen erfüllt.

Hinweise zum Umfang grundsätzlicher und projektbezogener Eignungsnachweise sind in „Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien - Bentonitmattengrundsätze“ (LAGA 2005) zu finden. Die

maßgebenden Einwirkungen und Lastfälle sind unter Berücksichtigung der projektspezifischen Randbedingungen festzulegen und zu begründen.

Aus Gründen der Langzeitbeständigkeit dürfen für die zum Einsatz kommenden Kunststoffe nur Formmassen eindeutiger Herkunft und Zusammensetzung aus Polypropylen oder Polyethylen hoher Dichte verwendet werden.

Für die geosynthetische Tondichtungsbahn sind die Eignungsnachweise auf Grundlage der EAG-GTD zu führen, wobei produktspezifische Aspekte zu berücksichtigen sind. In Tabelle 2-36.1 sind die maßgebenden Mindestanforderungen an die geosynthetischen Tondichtungsbahnen nach EAG-GTD aufgeführt.

Tabelle 2-36.1. Mindestanforderungen an geosynthetische Tondichtungsbahnen nach EAG-GTD

Parameter	Symbol	Norm/Empfehlung	Anforderung
Bentonitmenge	$M_{\text{clay}}$	DIN EN 189066	$\geq 4\,500\text{ g/m}^2$ (Natriumbentonit) $\geq 8\,000\text{ g/m}^2$ (Calciumbentonit)
Wassergehalt (Bentonit)	w	DIN 18121-1	$\leq 12\%$
Quellvermögen (Bentonit)	-	ASTM D 5890	$\geq 20\text{ ml}$ (Natriumbentonit) $\geq 8\text{ ml}$ (Calciumbentonit)
Wasseraufnahmevermögen (Bentonit)	$W_A$	DIN 18132	$\geq 450\%$ (Natriumbentonit) $\geq 150\%$ (Calciumbentonit)
Montmorillonitgehalt (Bentonit)	MB	DIN EN in Vorb. (prEN 254056)	$\geq 300\text{ mg/g}$ (Natriumbentonit) $\geq 300\text{ mg/g}$ (Calciumbentonit)
Flächenbezogene Masse (Geotextil)	$M_A$	DIN EN 965	$\geq 100\text{ g/m}^2$ (Gewebe) $\geq 200\text{ g/m}^2$ (mech.verf.Vliesstoff)
Zugfestigkeit (Geotextil: Gewebe)	$T_{\text{max}}$	DIN EN ISO 10319	$\geq 7.0\text{ kN/m}$ (längs/quer)
Stempeldurchdruckkraft (Geotextil: Vliesstoff)	$F_p$	DIN EN ISO 12236	$\geq 1.0\text{ kN}$

Die Nachweise der Dichtungswirkung in allen Betriebszuständen werden – ggf. unter Berücksichtigung des Ionenaustausches – in Durchlässigkeitsversuchen in Anlehnung an DIN 18130 erbracht.

Die Wirksamkeit (Permittivität) bei Verformungen der geosynthetischen Tondichtungsbahn muss für die maßgebenden Betriebszustände nachgewiesen werden.

Beim Entwurf von Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen muss der Wasserhaushalt des Gesamtsystems zur Bewertung des Einflusses auf die Quell- und Schrumpfeigenschaften des Bentonits objektspezifisch untersucht werden (vgl. E 2-30). Zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen witterungsbedingte Austrocknung, wie sie z.B. bei WITT et al (2004) beschrieben sind, können standortspezifisch erforderlich werden. Ohne zusätzliche Maßnahmen gegen witterungsabhängige Austrocknungen zeigen langjährige Feldmessungen an Oberflächenabdichtungssystemen mit 1,0 bis 1,3 m Überdeckung der geosynthetischen Tondichtungsbahn durch Rekultivierungs- und Entwässerungsschichten jährliche saisonale Durchsickerungen von etwa 5 bis 25 mm/a (RETTIG et al 2005; REUTER 2006; WOLSFELD 2005), je nach klimatischen Standortverhältnissen.

Die mechanischen Eigenschaften des Verbundsystems werden durch die Geokunststoffkomponenten bestimmt. Ausreichende Robustheit und Dehnfähigkeit sind Voraussetzungen für den Verlege- und Überschüttungsvorgang. Die Hinweise der E 2-9 sind zu beachten. Die in der EAG-GTD geforderten Angaben hinsichtlich Verformungen und Dehnungsbeanspruchungen an Anschlüssen und Durchdringungen sind zu berücksichtigen.

Für Böschungen ist die Standsicherheit in den Gleitfugen des Dichtungssystems nach E 2-7 nachzuweisen. Die innere Scherfestigkeit des Verbundsystems und der Scherwiderstand zu den angrenzenden Schichten müssen dauerhaft die Sicherheitsanforderungen der Norm DIN V 4084-100 erfüllen. Maßgebende Bau- und Betriebszustände sind zu berücksichtigen (EAG-GTD 2002).

Die im Entwurfsstadium zugrunde gelegten Grenz- bzw. Mindestwerte müssen vor Baubeginn durch entsprechende Versuche an den zum Einsatz kommenden geosynthetischen Tondichtungsbahnen und angrenzenden Systemkomponenten nachgewiesen werden (vgl. E 2-7 und E 2-9).

Um vegetationsbedingte Trockenstresseinwirkungen zu vermeiden, muss die Rekultivierungsschicht (E 2-31) ggf. in Kombination mit zusätzliche wurzelsperrenden Komponenten die geosynthetische Tondichtungsbahn schützen.

## 5 Ausführung

Bei Ausführung und Verlegung einer geosynthetischen Tondichtungsbahn sind die Verlegeanleitung des Herstellers und die EAG-GTD zu beachten.

Die geosynthetische Tondichtungsbahn ist vom Hersteller mit Typenaufdruck und Etikett zu versehen. Für Versand, Transport und Lagerung sind die GTD-Rollen zum Schutz vor Feuchtigkeit in Folie zu verpacken. DIN EN ISO 10320 ist zu beachten. Bei Anlieferung ist der Lieferschein auf Vollständigkeit und Übereinstimmung mit der Bestellung zu prüfen.

Die Auflagerfläche muss gemäß den Vorgaben verdichtet, eben und frei von scharfkantigen Gegenständen oder schädlichen Stoffen sein. Kleinere Unebenheiten sind unbedenklich, soweit sie das Maß von 2 cm in der Höhe nicht überschreiten. Als Auflagermaterial sind mit Ausnahme der eng- und intermittierend gestuften Kiese (GE, GI) und dementsprechenden Lieferkörnungen alle Bodengruppen nach DIN 18196 geeignet.

Bereits verlegte Bahnen dürfen ohne ausreichende Überschüttung nicht befahren werden. Verlegte Bahnen, die vor dem Überschütten durch Niederschlagseinwirkung gequollen sind, dürfen nicht überschüttet werden. Sie sind auszubauen und durch einwandfreie Bahnen zu ersetzen.

Aufgrund ihrer großen Saugspannung können Bentonitmatten bei Erstquellung ihren maximalen Wassergehalt allein in Kontakt mit erdfeuchten Böden innerhalb von wenigen Wochen erreichen. Gequollene Bentonitmatten müssen deshalb frühzeitig gegen schädliche Wassergehaltsänderungen geschützt werden. Die in der EAG-GTD geforderte Mindestüberdeckung von 30 cm unterstützt die Dichtungswirkung während der Erstquellung und schützt vor mechanischen Beschädigungen. Als Schutzmaßnahme gegen Witterungseinflüsse ist diese Mindestüberdeckung nicht hinreichend. Eine optimale Dichtwirkung wird erreicht, wenn zwischen dem Aufbringen der Mindestüberdeckung von 30 cm in der Verlegephase und dem Aufbringen der weiteren Deckschichten nicht mehr als zwei bis drei Wochen vergehen.

Sofern bei der geosynthetischen Tondichtungsbahn ein Unterschied zwischen Träger- und Deckgeotextil besteht, dürfen Ober- und Unterseite der geosynthetischen Tondichtungsbahn nicht verwechselt werden.

Folgende Varianten zur Sicherstellung der Dichtigkeit im Überlappungsbereich sind gebräuchlich:

- Bentonitfüllung der Deckvlieslage im Überlappungsbereich (erfordert während der Ausführung i.d.R. keine zusätzlichen Arbeitsvorgänge/Maßnahmen),
- Einbringen von Bentonitpaste oder -pulver in den Überlappungsbereich,
- Verkleben des Überlappungsbereiches, z.B. mit Emulsionen,
- dachschindelartige Überlappung ohne abdichtende Zusatzstoffe, die nur in Fällen mit besonders geringen Anforderungen ausreichend ist.

Im Übrigen sind bei der Ausführung die Entwurfsgrundsätze nach Abschnitt 4 dieser Empfehlung und die Ausführungen der EAG-GTD zu beachten.

**Literatur zu E 2-36:**

- EAG-GTD: Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten). Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und für den Wasserbau“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT. Ernst & Sohn, 2002
- EGLOFFSTEIN, T.: Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien. ICP Eigenverlag, Bauen und Umwelt Band 3, Karlsruhe 2000
- REUTER, E.: Bentonitmatten als Abdichtungselemente in Oberflächenabdichtungssystemen. Statusworkshop Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme, Arbeitskreis 6.1 der DGGT, Fachhochschule Lippe und Höxter, 2006
- LAGA: Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien – Bentonitmattegrundsätze. Arbeitsentwurf der LAGA Ad-hoc-Unterarbeitsgruppe Bentonitmatten, Stand Oktober 2005
- WITT, K.J.; ZEH, R.M. & FABIAN, F.: Kapillarschutzschichten für mineralische Dichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungen. Müll und Abfall, Heft 11, 2004
- RETTIG, R; RAABE, S.; MELCHIOR, S. & STEINERT, B.: Zwischenergebnisse der Versuchsfelder der MEAB zu alternativen Oberflächenabdichtungssystemen auf der Deponie Deetz/Brandenburg. 2. Leipziger Deponiefachtagung 2006
- WOLSFELD, N.: Bodenphysikalische Eignung mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme für Monodeponien der Stahlindustrie. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., Heft 43, 2005