

Sand-Bentonitbahn als Alternative zur mineralischen Dichtung in der Kombinationsabdichtung am Beispiel der Deponie in Ubbena

Empfehlung Gleichwertigkeit ML40

1. Beurteilungskriterien

Zur Deponieverfügung sind mehrere Richtlinien ergangen, die technische Anforderungen regeln, denen die Dichtungskonstruktion insgesamt und ihre einzelnen Bauteile genügen müssen. Anlage 1 enthält eine Übersicht über diese Anforderungen.

Die Richtlinie „unterseitige Abdichtung“ bestimmt, dass Dichtungskonstruktionen mindestens ein Schutzniveau bieten müssen, wie es beim Einsatz einer kombinierten Dichtung aus einer Folie (PEHD, 2 mm) und einer Schicht Sandbentonit (25 cm für oberseitige Abdichtungen und 50 cm für unterseitige Abdichtungen) erreicht wird. Ferner geht aus dieser Richtlinie hervor, dass neuartige Materialien grundsätzlich eine Verbesserung im Vergleich zum Referenzmaterial darstellen müssen. Die Verbesserung kann den Preis oder die Dauerhaftigkeit betreffen, aber auch die Verbesserung (Reduzierung) der Durchlässigkeit und der diffusionshemmenden Eigenschaften.

2. Beschreibung des Materials

ML steht für Mineralschicht (Minerales Laag). Es handelt sich um ein Produkt, das aus zwei Kunststoffgewebelagen (PEHD) besteht, die untereinander in regelmäßigen Abständen mit Bändern aus demselben Material verbunden sind. Dazwischen befindet sich eine Sand-Bentonit-Schicht [Dokument 1]. Diese Schicht setzt sich aus sortenreinem Sand und ca. 25 % Kalziumbentonit zusammen.

ML40 wird in Bahnen geliefert, die 2,20 m breit, maximal 80 m lang und ca. 2 cm dick sind. Die Seiten laufen konisch zu. Diese schrägen Kanten werden aufeinander gelegt, danach werden die Kunststoffbahnen mit einer speziellen Technik an der Überlappung miteinander verschweißt.

Die Bahnen werden industriell hergestellt. Dabei kommt ein Qualitätskontrollsystem zur Anwendung, das aus eigenen internen Kontrollen und einer externen Kontrolle durch eine unabhängige Stelle besteht [Dokument 1].

3. Prüfung des Materials

3.1 Wasserdurchlässigkeit (bei 10 °Celsius)

Ausgehend von einer Dicke von 2 cm darf die durchschnittliche Durchlässigkeit beim Einsatz von ML40 in oberseitigen Abdichtungen, die der Deponieverfügung genügen müssen, maximal $2,3 \times 10^{-11}$ m/s betragen.

Die Universität Hannover hat die Durchlässigkeit des mineralischen Materials in Versuchen mit einem Triaxialgerät auf zweierlei Weise gemessen: (1) mit einem Zelldruck von 450 kN/m² und einem Sättigungsdruck von 400 kN/m² (7 Wiederholungen) und (2) mit einem Zelldruck von 50 kN/m² und einem Sättigungsdruck von 0 kN/m² (8 Wiederholungen), jeweils während 75 Tagen. Das geprüfte Material wurde von der Firma Gebrüder Friedrich GmbH (Abteilung Deponietechnik) in Salzgitter geliefert und besteht laut Angabe aus 75 % „Sand“ und 25 % Kalziumbentonit. Bei den Versuchen wurde ein Volumengewicht (nass) von 2 gr/cm³ bei 20 % Feuchtigkeit realisiert, was einem Volumengewicht (trocken) von 1,67 gr/cm³ entspricht. Die mittlere Durchlässigkeit liegt unter 2×10^{-11} m/s [Dokument 1]. Es findet sich keine Angabe dazu, ob aus der gemessenen Durchlässigkeit auf die Durchlässigkeit bei 10 ° Celsius zurückgerechnet wurde.

Die gemessene Durchlässigkeit des Materials inklusive Kunststoffbahnen beträgt lotrecht auf dem Material 0 m/s, was bedeutet, dass die Kunststoffbahnen wasserdicht sind.

Ferner hat die Universität Hannover auch die Durchlässigkeit der nicht verschweißten Überlappung gemessen. Diese beträgt ungefähr 8×10^{-10} m/s [Dokument 1]. Die Durchlässigkeit der verschweißten Überlappung wurde von FUGRO gemessen und beträgt 0 m/s [Dokument 2].

FUGRO hat auch die Transmissivität zwischen einer PEHD-Folie und dem ML40 gemessen. Dieser Parameter ist für den Fall wichtig, dass ein Loch in der PEHD-Folie entsteht. Dann kann Wasser durch dieses Loch eindringen und sich zwischen der Folie und dem Abdichtungsmaterial ausbreiten, wodurch das „effektive“ Loch in der Folie wesentlich größer sein

kann als das tatsächlich vorhandene Loch und der potenzielle Leckverlust demgemäß ebenfalls höher sein kann. Ist der Strömungswiderstand (\sim Transmissivität) zwischen Folie und Material hoch (geringe Transmissivität), bleibt der Leckverlust gering und ausschließlich von der tatsächlichen Größe des Lochs bestimmt.

Infolge der unebenen Oberfläche des ML40 (Kunststoffgewebe) ist die Transmissivität zwischen der PEHD-Folie und dem Kunststoff bei ML40 relativ hoch. Dies bedeutet jedoch kein Problem, weil in diesem Fall von einem Leck noch nicht die Rede sein kann, die Kunststoffbahn ist schließlich flüssigkeitsdicht. Ein Leck in der PEHD-Folie kann eventuell Folgen für den Reibungswiderstand zwischen der PEHD-Folie und dem ML40 haben.

Ergebnis:

Die Durchlässigkeit des geprüften Materials, wie sie in Dokument 1 dargestellt ist, entspricht den Anforderungen der Deponieverfügung.

3.2 Mechanische Stabilität

Die Deponieverfügung verlangt keine speziellen Werte für den Reibungswiderstand oder den damit zusammenhängenden inneren Reibungswinkel, sondern fordert, dass technische Sachverständige die Stabilität auf Böschungen prüfen müssen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang

- (1) der Reibungswiderstand des mineralischen Materials in ML40. Dieses Material hat einen hohen inneren Reibungswinkel und stellt keinen limitierenden Faktor für die Stabilität auf geneigten Flächen dar [Dokument 1].
- (2) Der innere Reibungswiderstand der mineralischen Füllung plus der Verbindungsbänder zwischen oberer und unterer Kunststoffbahn,
- (3) Der Reibungswiderstand (je nach oberseitiger Belastung) zwischen ML40 und der mineralischen Stüttschicht,
- (4) Der Reibungswiderstand (je nach oberseitiger Belastung) zwischen ML40 und der PEHD-Folie.

Ergebnis: In eventuell kritischen Fällen (steile Böschungen) ist eine Stabilitätsanalyse durch technische Sachverständige durchzuführen.

Ein zweiter Aspekt der mechanischen Stabilität betrifft den Einfluss einer ungleichmäßigen Setzung auf die Durchlässigkeit des Dichtungsmaterials. Der Einfluss einer allseitigen Deh-

nung bis zu 10 % auf die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung von ML40 wurde von Alterra geprüft [Dokument 4].

Aus den Messungen ist ersichtlich, dass die Durchlässigkeit bei einer allseitigen Dehnung bis zu 10 % nicht ungünstig beeinflusst wird.

Ergebnis:

Eine allseitige Dehnung bis zu 10 % hat keinen nachteiligen Einfluss auf die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung von ML40.

3.3 Thermische und chemische Stabilität

Dieser Aspekt ist relevant, wenn die Temperatur ständig oberhalb von 25 °Celsius liegt. Die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung wird nur von der Veränderung der Viskosität der Flüssigkeit bestimmt. Normalerweise beträgt die Temperatur durchschnittlich 10 °Celsius, weshalb die Durchlässigkeit auch für diesen Wert angegeben wird (mittels einer Viskositätsrückrechnung aus Messungen bei 20 °Celsius hergeleitet).

Bezüglich der chemischen Beständigkeit der mineralischen Füllung sei darauf hingewiesen, dass sich die Durchlässigkeit des mineralischen Materials bei den üblichen Umständen (relativ geringer Gesamtsalzgehalt in der Porenfeuchte der Stützschrift und der Deckschrift plus relativ hohes Verhältnis zwischen Na (+K) und Ca (+Mg)) nicht oder kaum verändert, wenn Lecks in den Folien bzw. den Kunststoffen auftreten. Anzumerken ist ferner, dass bei einem Auftreten von Löchern an der Unterseite der Kunststoffbahnen die Durchfeuchtung der mineralischen Füllung und die damit einhergehende Diffusion gelöster Salze aus der Porenfeuchte der Stützschrift wegen der Radialsymmetrie des Transportvorgangs äußerst langsam verlaufen.

Auf der Basis globaler Näherungswerte (berechnet von Alterra) ist zu erwarten, dass die mittlere Durchlässigkeit bei einer Beeinträchtigung der mineralischen Komponente von ML40 unter kritischen Umständen (z. B. auf einer Stützschrift mit hohem Salzgehalt im Porenwasser und einem hohen Verhältnis zwischen zwei- und einwertigen Ionen in der Porenfeuchte) nach 100 Jahren um ca. 15 % angestiegen ist, wenn man von 10 „Löchern“ pro Hektar (gute Ausführung) mit einem mittleren Durchmesser von 0,1 m und einer permanent geringen positiven Wasserspannung in den Löchern ausgeht.

Was die Frage der funktionalen Lebensdauer des PEHD-Gewebes des ML40 angeht, sind die möglichen Abbauprozesse evaluiert worden. Auf der Basis der Ergebnisse, die in den

von GENAP zur Verfügung gestellten Berichten der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung) und der Fachhochschule Münster (Labor für Baustoffe) dargestellt sind, wird eine Lebensdauerprognose abgegeben [Dokument 3].

Auf der Basis der Evaluierung und der Versuchsdaten ist davon auszugehen, dass die funktionale Lebensdauer ohne signifikanten Leistungsverlust für das betroffene PEHD-Gewebes, verlegt in Boden, über 120 Jahre beträgt, sofern folgende

Voraussetzungen eingehalten sind:

- Die Bodentemperatur liegt unter 25 °C,
- Es werden keine größeren Zugkräfte auf das Gewebe ausgeübt,
- Kein Verschleiß durch Abrutschen von Bodenschichten entlang des ML40,
- Das beschichtete PEHD-Gewebe ist maximal wenige Tage der UV-Strahlung des solaren Spektrums (Sonnenlicht) ausgesetzt,
- Keine Exposition des PEHD-Gewebes in stark oxidierenden Umgebungsbedingungen.

Wird das PEHD-Gewebe hohen Quellmittelkonzentrationen oder spannungskorrosiven Flüssigkeiten ausgesetzt, führt dies zu einem einmaligen Leistungsverlust von maximal 15 % und zu einer Abnahme der Dehnresistenz bis zum Bruch von maximal 25 % [Dokument 3].

Ergebnis:

Unter normalen Umständen beträgt die voraussichtliche Lebensdauer der Kunststoffkomponente von ML40 mindestens 120 Jahre. Die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung wird unter gemäßigten Umständen voraussichtlich nicht oder kaum ansteigen. Ist die mineralische Füllung extremen Umständen ausgesetzt, empfehlen wir, die voraussichtliche Lebensdauer genau zu berechnen.

3.4 Biologische Stabilität und Beständigkeit

Der Kunststoff PEHD ist biologisch nicht abbaubar, die mineralische Füllung ebenfalls nicht. Wir empfehlen jedoch, die Dichtungsstrukturen gegen grabende Tiere und eindringende Pflanzenwurzeln (insbesondere Bäume, Sträucher und mehrjährige Pflanzen) zu schützen.

Ergebnis:

ML40 ist dauerhaft.

3.5 Verfahrenstechnische Verarbeitung

ML40 wird industriell durch die Gebrüder Friedrich in Salzgitter (Deutschland) hergestellt und auf Rollen zur Baustelle geliefert. Mit geeigneten Geräten lassen sie sich gemäß der Einbauanweisung [Dokument 1] einfach abrollen. Das Verschweißen der Bahnen an der Überlappung erfolgt mit hierfür geeigneten Geräten.

Ergebnis:

Die verfahrenstechnische Verarbeitung ist einfach. Eine Einbauanweisung ist verfügbar.

3.6 Kontrollmöglichkeiten für Zusammensetzung und Eigenschaften

Die Eingangskontrolle für das fertige ML40 auf der Baustelle besteht in einer visuellen Inspektion der Qualität der Bahnen (Beschädigungen?) und in einer Kontrolle der Zertifikate. Die Zusammensetzung des mineralischen Teils kann eventuell stichprobenweise analog der CUR-Empfehlung 33 kontrolliert werden.

Ergebnis:

Eine Eingangskontrolle ist möglich.

3.7 Empfindlichkeit und Verhaltensregeln während der Verarbeitung

Die Einbauanweisung [Dokument 1] enthält entsprechende Verhaltensregeln.

Ergebnis:

Ist in der Einbauanweisung geregelt.

3.8 Qualitätssicherung

- (1) Anweisung zu Materialanforderungen und Materialauswahl: *liegt vor [Dokument 1]*
- (2) Anweisung für die Eingangskontrolle auf der Baustelle: *Über Zertifikate, visuelle Prüfung auf Beschädigungen, eventuell Anwendung von CUR-Empfehlung 33, in Ausschreibungsunterlagen zu regeln.*

- (3) Anweisungen für die Produktion vorgefertigter Materialien: *Produktion erfolgt mit interner und externer Qualitätssicherung.*

Die Qualitätssicherung erfolgt während der Produktion von ML40 (interne und externe Kontrolle) [Dokument 1]. Sie erstreckt sich auf die Kunststoffe (Kontrolle der Herkunft und Stichprobenkontrolle der Zusammensetzung), die mineralischen Materialien (Zusammensetzung von Sand, Montmorillonitgehalt des Kalziumbentonits, Mahlfineinheit, Schwellkapazität, CEC, Dichte der Mineralstoffe). Beim fertigen Produkt werden an den Kunststoffbahnen das Gewicht pro Oberflächeneinheit, die Zugstärke von Auf- und Einschlag sowie die Durchdrückstärke bestimmt. Zur externen Kontrolle wurde ein Vertrag mit der Fachhochschule Münster bis zum 31. Dezember 2003 abgeschlossen, der vom Institut für Bau- und Umwelttechnik GmbH in Greven (Deutschland) übernommen werden soll [Dokument 1].

- (4) Anweisung Probenahmen: Beschrieben für die Zusammensetzung des Sandes, Anforderungen Bentonit, Anforderungen Kunststoffe [Dokument 1]. *Es fehlt eine regelmäßige Ermittlung der Durchlässigkeit der mineralischen Füllung und deren Prüfung anhand der Anforderungen.*
- (5) Anweisung zum Anwendungsbereich: *Kein Dokument vorhanden, in dem die Anwendungsmöglichkeiten aufgeführt oder eingeschränkt werden.*
- (6) Anweisung für die Verarbeitung: *Ist vorhanden [Dokument 1]*
- (7) Anweisung zu Anforderungen an die Fertigstellung/Abnahme: *Nicht vorhanden, muss in den Ausschreibungsunterlagen geregelt werden.*

Ergebnis zur Qualitätssicherung:

Herstellung und Verarbeitung unterliegen einer Qualitätssicherung, die auf einer internen und externen Qualitätsüberwachung aufsetzt. Das gilt sowohl für die Ausgangsprodukte als auch für das fertige Produkt. Eine Lücke besteht aber, was regelmäßige Kontrollen der Durchlässigkeit des Füllmaterials angeht. Dies muß daher während der Produktion geregelt werden.

4. Endbeurteilung

ML40 wurde anhand der Anforderungen der Deponieverfügung geprüft, und zwar anhand der eingereichten Unterlagen und ergänzender Prüfungen zur Durchlässigkeit der Überlappung und zur Transmissivität (von FUGRO), ferner zum relativen Einfluss allseitiger Dehnung auf die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung von ML40 (von Alterra).

Die Angaben zur Dauerhaftigkeit der mineralischen Füllung, falls diese über Löcher in den PE-Folien mit Flüssigkeiten der Qualität gesättigten Porenwassers in durchschnittlichen MVA-Bodenaschen in Kontakt kommt, wurden mit einer von Alterra entwickelten vereinfachten Berechnung näherungsweise ermittelt.

Ergebnisse

- (1) Die angegebene Durchlässigkeit entspricht den Anforderungen der Deponieverfügung.
- (2) Die voraussichtliche Lebensdauer der Kunststoffkomponente von ML40 beträgt unter normalen Umständen mindestens 120 Jahre.
- (3) Die Durchlässigkeit der mineralischen Füllung wird voraussichtlich auch unter kritischen Bedingungen kaum zunehmen. Bei einem Einsatz unter extremen Bedingungen für die mineralische Füllung empfehlen wir, eine genaue Berechnung der voraussichtlichen Lebensdauer durchzuführen.
- (4) Eine allseitige Dehnung bis zu 10 % hat keinen nachteiligen Einfluss auf die Durchlässigkeit der mineralischen Komponente von ML40.
- (5) Die Materialien von ML40 sind biologisch nicht angreifbar. Schäden durch grabende Tiere müssen jedoch verhindert werden.
- (6) Die Durchlässigkeit der Überlappung beträgt Null, wenn die Bahnen miteinander verschweißt werden.
- (7) Die Transmissivität zwischen der Folie und dem Kunststoff von ML40 ist relativ hoch, hat aber keine Bedeutung, wenn ML40 ordnungsgemäß eingebaut wird. Die Stabilität auf schrägen Flächen beim Eindringen von Wasser zwischen der Folie und dem Kunststoff von ML40 bedarf gegebenenfalls einer genaueren Analyse.
- (8) ML40 wird industriell in zertifizierten Verfahren (mit interner und externer Kontrolle) produziert. Eine Lücke besteht hinsichtlich der regelmäßigen Messung der Durchlässigkeit. Wir empfehlen, die Zusammensetzung der mineralischen Füllung auf dem Zertifikat anzugeben.
- (9) Der Einbau von ML40 ist relativ einfach; eine Einbauanweisung verfügbar.
- (10) Eine Eingangskontrolle auf der Baustelle kann durch visuelle Inspektion, Prüfung der Zertifikate und eventuell durch Kontrolle des Inhalts der mineralischen Füllung von ML40 erfolgen. Für die Elemente, für die es keine Anweisungen gibt, ist dies in den Ausschreibungsunterlagen zu regeln.
- (11) Für die Fertigstellungsprüfung fehlt es an einer Prüfanweisung. Dieser Punkt ist daher in den Ausschreibungsunterlagen zu regeln.

Auf der Basis der durchgeführten Prüfungen entspricht ML40 der Deponieverfügung. Die zweiseitig vorhandenen Kunststoffgewebe stellen im Vergleich zur Referenzdichtung eine wesentliche Verbesserung im Hinblick auf die Hemmung der Diffusion gelöster Stoffe dar.

Dokumente

- (1) MDB; Mineralische-Dichtungs-Bahn;
Gleichwertigkeitsnachweis. Stand: März 2002
- (2) Doorlatendheid t.p.v. de overlap en transmissiviteit (tussen HDPE-folie en ML40 laag). Fugro, 29 april 2004,
ref. 1704-0081-000/HRW
- (3) Kunststoffen in de ML 40 (Minerale Laag). TNO-Industrie,
Dr. J. Breen, toegezonden door TNO per e-mail 19 juli, 2004
- (4) Laboratoriumonderzoek Alterra van de invloed van alzijdige rek van het mineraal materiaal op de verandering van de doorlatendheid

Weitere Informationsquellen

- (1) CUR-Aanbeveling 49; Bentonietmatten in Bodembeschermende voorzieningen. Gouda, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR).
- (2) CUR-Aanbeveling 50; Bentonietmatten in bodembeschermende voorzieningen. Gouda, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR).
- (3) CUR. Bentonietmatten in bovenafdichtingen van afval- en reststofbergingen Gouda, CUR, Rapport 97-4
- (4) CUR-Aanbeveling 33, Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet al dan niet in combinatie met kunststof geomembranen, tweede druk. Gouda, Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR).
- (5) CUR. Granulaire afdichtingslagen op basis van zandbentoniet; Achtergrondrapport bij CUR-Aanbeveling 33.
- (6) Richtlijn onderafdichtingsconstructies voor stort- en opslagplaatsen. Den Haag, VROM, Publikatiereeks Bodembescherming nr. 1993/2

- (7) Handleiding voor ontwerp en konstruktie van eindafdekkingen van afval- en reststofbergen. Den Haag, VROM, Publikatiereeks Bodembescherming nr. 199314
- (8) Rekenprocedure voor benaderen verloop gemiddelde doorlatendheid van ML40 bij aanwezigheid van lekken onder kritische omstandigheden (interne Alterra notitie, 13 sept. 2004)