LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5
Oberflächenabdichtungskomponenten
aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen

vom 29.04.2025

veröffentlicht am 07.07.2025

INHALT **Seite**

1 Allgemeines ... 3
2 Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Nachweise ... 4
2.1 Abdichtungswirkung ... 4
2.1.1 Nachweisverfahren ... 4
2.1.2 Prüfgrößen ... 5
2.1.3 Anpassungsfaktoren ... 6
2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit ... 7
2.2.1 Standsicherheit und Verformungssicherheit ... 7
2.2.2 Hydraulische Widerstandsfähigkeit ... 11
3 Beständigkeit und Alterung ... 11
3.1 Alterung und Kriechen ... 11
3.2 Langzeit-Scherfestigkeit von GTD ... 13
3.3 Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse ... 13
3.3.1 Beständigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser ... 14
3.3.2 Beständigkeit gegenüber Organismen ... 14
3.3.3 Beständigkeit gegenüber Witterung und Wassergehaltsänderungen ... 14
3.3.4 Beständigkeit gegenüber Gasen ... 15
4 Fehlerausgleich bei Kombination mit KDB (Pressverbund) ... 15
5 Schutzmaßnahmen ... 15
6 Herstellbarkeit ... 16
7 Sonstige Anforderungen an die Abdichtung ... 17
8 Qualitätsmanagement bei Herstellung und Verlegung ... 18
9 Technische Bezugsdokumente ... 18

Anhang 1: Anforderungen an Schutzmaßnahmen gegen schädliche Wasserspannungen in geosynthetischen Tondichtungsbahnen

Anhang 2: Beurteilung der Auswirkung des Deckgeotextils auf den Pressverbund - Nachweisverfahren

Anhang 3: Bestimmung der Permittivität nach Erstquellung unter Salzeinwirkung und Ionenaustausch

Anhang 4: Qualitätsüberwachung geosynthetischer Tondichtungsbahnen

1 Allgemeines

Nach Anhang 1, Nr. 2.1 der Deponieverordnung (DepV) dürfen für Deponieabdichtungssysteme sonstige Baustoffe, Abdichtungskomponenten und Abdichtungssysteme nur eingesetzt werden, wenn sie

- dem Stand der Technik nach Nummer 2.1.1 entsprechend,
- einem Qualitätsstandard entsprechen, der bundeseinheitlich gewährleistet und
- deren Eignung gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen ist.

Der Nachweis gilt als geführt, wenn eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder für einen sonstigen Baustoff, eine Abdichtungskomponente oder ein Abdichtungssystem vorliegt.

Der vorliegende Bundeseinheitliche Qualitätsstandard (BQS) bezieht sich auf geosynthetische Tondichtungsbahnprodukte, die als mineralische Abdichtungskomponenten in den Oberflächenabdichtungssystemen gemäß Anhang 1 Nr. 2.3 DepV Verwendung finden sollen. Er gilt als Grundlage für die bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) als mineralische Abdichtungskomponente in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien nach Deponieverordnung (DepV).

Die nachzuweisenden Anforderungen ergeben sich aus dem „Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 5-0 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten übergreifende Anforderungen“ (BQS 5-0). Diese werden hiermit für GTD konkretisiert. Durch entsprechende Verweise *(kursiv gedruckt)* wird auf die jeweils maßgebenden Festlegungen in den BQS 5-0 hingewiesen.

Es werden die für die Beurteilung grundsätzlich zu erbringenden Angaben und Nachweise für den vorgesehenen Anwendungsbereich beschrieben. Damit wird der Rahmen für entsprechende Eignungsprüfungen vorgegeben. Er ist im Einzelnen an das jeweilige Produkt anzupassen.

Grundsätzlich geeignet sind Produkte, die folgenden Anforderungen entsprechen:

- Natürliche Mineralstoffe müssen als Ausgangsstoffe bei ihrer Gewinnung einer Qualitätsüberwachung unterliegen.
- Zusätze werden als Vorprodukte i. d. R. werkmäßig hergestellt oder aufbereitet und müssen einer Qualitätsüberwachung unterliegen.
- Ausgangsstoffe und Vorprodukte müssen sich durch Angabe geeigneter Merkmale eindeutig kennzeichnen lassen.
- Für die Zusammensetzung des Produktes sind die zulässigen Bandbreiten so festzulegen, dass es sich bodenmechanisch und hydraulisch gleichartig verhält.
- Die Qualitätssicherung der Herstellung muss durch eine werkseigene Produktionskontrolle und eine Fremdüberwachung durch einen unabhängigen Dritten erfolgen.

Für die im Folgenden genannten Kriterien ist die Eignung der Produkte nachzuweisen. Als Nachweisgrundlagen werden, soweit z. Zt. möglich, Prüfverfahren und Nachweiskonzepte angegeben. Wo dies nicht möglich ist, bleibt es zunächst dem Anbieter überlassen, einen konkreten Vorschlag für eine Nachweisführung zu machen. Über Fragen der Nachweisführung und in diesem Zusammenhang zu erstellende Prüfprogramme ist jedoch eine Abstimmung mit der UAG GTD der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ erforderlich.

Die Prüfstellen, bei denen die Eignungsprüfungen durchzuführen sind, werden in Abstimmung mit dem Produktanbieter von der UAG GTD der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ bestimmt.

Auf der Basis der bestandenen Eignungsprüfung werden in der Eignungsbeurteilung u. a. die Anforderungen an die Ausgangsstoffe, die Bandbreite der zulässigen Zusammensetzungen, die Art und der Umfang der ggf. erforderlichen projektbezogenen Eignungsprüfung, die bei der Herstellung des Produktes zulässigen Toleranzen, die für den Verwendungsfall erforderlichen Einbaurandbedingungen festgelegt. Es werden weiterhin der Umfang der Qualitätssicherung der Herstellung des Dichtungsmaterials festgelegt sowie Hinweise für die Qualitätssicherung des Einbaus gegeben.

Eine Verwendung einer bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilung auf der Grundlage dieses BQS ist nach Maßgabe der abfallrechtlichen Genehmigungsbehörde auch bei Altdeponien (TA Abfall, TA Siedlungsabfall Nr. 11.2) und im Rahmen der Übergangsvorschriften (TA Abfall, TA Siedlungsabfall Nr. 12) möglich, wenn dies unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse, z. B. Dichtigkeit und Beständigkeit gegenüber Deponiegaseinwirkung und Setzungen infolge biochemischen Abbaus erfolgt.

2 Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Nachweise

2.1 Abdichtungswirkung

2.1.1 Nachweisverfahren
(siehe *Nr. 2.1*)

In *Nr. 2.1.1 der BQS 5-0* sind Anforderungen an die Abdichtungswirkung der Oberflächendichtung gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser als maximal zulässige Permeationsraten unter den für Deponien maßgebenden Randbedingungen genannt. Hieraus sind die Anforderungen an die zu beurteilende GTD abzuleiten. Der Nachweis der Abdichtungswirkung erfolgt unter Berücksichtigung von *Nr. 2.1.2.* Um die Auswirkungen der relativ geringen Dicke von GTD besser berücksichtigen zu können, wird für die Nachweise zunächst jeweils die Permittivität bestimmt und dann auf die Permeationsrate bezogen.

Die zulässige Permittivität ergibt sich aus der Beziehung

zul. ψ = q / h

mit der Permeationsrate q gemäß *Tabelle 2* und Aufstauhöhe h = 30 cm

Der Bemessungswert der unter Berücksichtigung der Einwirkungen während des Einbaues und der anschließenden Exposition für den nach Tabelle 1 maßgebenden Haltbarkeitsdauer anzunehmenden Permittivität cal ψ ergibt sich zu:

cal ψ = A * ψ_k

mit A - Produkt aus den Anpassungsfaktoren A_1 und A_2 (s. u.)
ψ_k - charakteristische Permittivitäten nach 2.1.2 b) auf der Basis eines 95%-Quantil

Die Bedingung cal. $\psi \leq$ zul. ψ muss erfüllt sein.

Anmerkung:
Der Faktor A_1 ist in der Größenordnungen festzulegen, der den zu erwartenden Veränderungen der Durchlässigkeit durch Materialveränderungen oder der Streuung der Messwerte beim Einbau entsprechen. Beispielsweise ist eine zu erwartende Zunahme der Durchlässigkeit um eine Zehnerpotenz in Folge von Materialveränderungen mit dem Faktor 10 und eine Streuung der Messwerte beim Einbau um eine halbe Zehnerpotenz mit dem Faktor 5 zu berücksichtigen. Sind keine Veränderungen oder Streuungen zu erwarten, sind die jeweiligen Faktoren mit 1,0 anzusetzen.

2.1.2 Prüfgrößen

Folgende Prüfgrößen sind zu ermitteln:

a) Permittivität ψ [1/s] der produktionsfrischen GTD bei einem Wasserüberstau von 30 cm in Abhängigkeit von Auflasten 15 und 35 kN/m^2

Ziel:
Nachweis des Einflusses bestimmter Randbedingungen auf die Permittivität in Abhängigkeit von der Auflast.

Nachweisgrundlage:
Prüfungen an mindestens je drei Proben in der Triaxialzelle nach DIN EN 16416 oder in Prüfzellen mit starrer Wandung nach DIN 18130-1 mit steigender Auflast mit Messung und Darstellung der ein- und ausströmenden Wassermengen jeweils bis zum Erreichen stationärer Verhältnisse.

Die zeitliche Entwicklung der Durchlässigkeit ist festzustellen. Die Ein- und Ausbauwassergehalte sind anzugeben.

Die Beschreibung des Prüfverfahrens in „Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen EAG-GTD“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) ist zu beachten.

Bei vernähten Produkten ist der Einfluss von Nähten durch eine geeignete Probengröße zu erfassen.

Bei Produkten mit zunächst wasserdichten, aber nicht langzeitbeständigen Beschichtungen der Geotextilien, ist die Permittivität ohne Geotextil maßgebend.

b) Permittivität der produktionsfrischen GTD in der Fläche unter Berücksichtigung von Materialstreuungen

Ziel:
Zusammen mit den Ergebnissen nach a) Festlegung charakteristischer Werte ψ_k für den Nachweis der Dichtigkeit

Nachweisgrundlage:
Nachweis des Mittelwertes und der Standardabweichung der Grundgesamtheit eines Prüfloses, dessen Umfang im Einzelfall festgelegt wird.

Angabe von Mittelwert und 95 %-Quantil als charakteristische Werte ψ_k .

2.1.3 Anpassungsfaktoren

Berücksichtigung der Einwirkungen bei Einbau und Exposition

a) veränderte Dichtigkeit in Überlappungen / Fügestellen in Abhängigkeit von:

- Wasserüberstau 30 cm
- Art der Überlappungen / Fügestellen (T-Stoß, Längsstoß, Querstoß)
- Auflast von 15 kN/m^2

Ziel:
Ableitung eines Anpassungsfaktors A_1

Nachweisgrundlage:
drei Versuche unter Berücksichtigung von Längs-, Quer- und T-Stößen, ein Versuch einer Probe gemäß 2.1.2 a zwecks Referenz
Beschreibung des Prüfverfahrens in EAG-GTD

b) Veränderungen der Dichtungseigenschaften des Bentonits durch Kationenaustausch, Faktor A_2

Es sind Nachweise nach Anhang 3 erforderlich, die die zu erwartenden Auswirkungen auf die Permittivität durch Beaufschlagung mit mineralisiertem Wasser aus mineralisierten Bodenlösungen aus der Rekultivierungsschicht und der Entwässerungsschicht berücksichtigen. Der Anpassungsfaktor A_2 ist entsprechend zu bestimmen.

Alternativ zur Bestimmung des Anpassungsfaktors A_2 kann unter Berücksichtigung des Anpassungsfaktors A_1 anhand der Ergebnisse aus Versuchen nach Anhang 3 die Einhaltung der Anforderungen an die Permittivität (zul. ψ) unmittelbar abgeleitet werden.

2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit

(siehe *Nr. 2.2.*)

In *Nr. 2.2* wird die mechanische Widerstandsfähigkeit des Abdichtungssystems gegenüber äußeren Einwirkungen gefordert. Hierfür werden Anforderungen an bestimmte Eigenschaften der Dichtungselemente gestellt bzw. die Eigenschaften müssen für die erforderlichen projektbezogenen Nachweise bekannt sein.

2.2.1 Standsicherheit und Verformungssicherheit

Standsicherheit und Verformungssicherheit der Dichtung sind i.d.R. projektbezogen unter Berücksichtigung der *Abschnitte 2.2.1, 2.2.2 und 2.2.3* nachzuweisen. Die hierfür benötigten Materialkennwerte sind, soweit möglich, projektunabhängig im Rahmen der Eignungsprüfungen zu bestimmen. Es sind daher mindestens Nachweise bzw. Angaben zu folgenden Parametern als charakteristische Werte[1] erforderlich:

a) innere Scherfestigkeit (φ', c' oder Ersatzreibungswinkel) der produktionsfrischen GTD in Abhängigkeit von:

- Auflast: bis 60 kN/m^2
- Temperaturen: 0 bis 30 °C (ungünstigste Temperatur ist maßgebend)
- Wassergehalt: Einbauwassergehalt, konsolidierter drainierter Zustand, ggf. unkonsolidierter, undrainierter Zustand bei trocken einzubauenden Dichtungsmaterialien: trockener Zustand, wassergesättigter Zustand

[1] Als charakteristischer Wert ist hier ein auf der sicheren Seite liegender Mittelwert nach DIN 4020 anzugeben

Nachweisgrundlage:

Kurzzeitscherversuche bei Raumtemperatur in gequollenem Zustand im Rahmenschergerät

Angabe als charakteristischer Wert[1] (siehe BU III-68) bei Abminderung von c' und tan φ' um 30 % zur Berücksichtigung des Zeitstandverhaltens von Entschlaufungsvorgängen;

Es ist eine Abschätzung zu treffen, ob und ggf. wie sich Temperaturen von 10 °C oder 40 °C auf die Scherfestigkeit auswirken.

b) Nachweis der Kurzzeitfestigkeitseigenschaften der Verbundfasern bzw. -fäden in Abhängigkeit von der Vernadelungs- bzw. Vernähungsdichte

Nachweisgrundlage:

Bestimmung der Faser-/Fadenfestigkeit nach DIN EN ISO 5079,
Bestimmung der Anzahl von Fäden oder Fasern pro m²,
Berechnung der theoretisch übertragbaren Schubspannung:

τ_F = Faser-/Fadenfestigkeit ∗ Anzahl der Fasern/Fäden pro m²,

Angabe des charakteristischen Werts τ_{kF} als 95 %-Quantil

c) Bestimmung eines Bemessungswertes für die rechnerisch durch Fasern oder Fäden maximal übertragbare Schubspannung (Schubbewehrung – soweit für eine ausreichende innere Scherfestigkeit erforderlich)

Nachweisgrundlage:

Die rechnerisch maximal übertragbare Schubspannung ist unter Zugrundelegung der nach 2.1 b) bestimmten Anzahl und der Kurzzeitfestigkeit der Fasern oder Fäden zu ermitteln.
Die charakteristische, rechnerisch übertragbare Schubspannung τ_k ergibt sich zu:

$$\tau_k = \tau_{kF} * f_{VB} * f_{Ü} / A$$

mit	τ_{kF}	rechnerisch übertragbare Schubspannung nach b)
	f_{VB}	Verbundfaktor zur Berücksichtigung einer nur partiellen Auslastung der Verbundfasern/-fäden, f_{VB} = 0,7 bei vernadelten Produkten, bei vernähten Produkten Annahme einer Ausfallrate (min. 5 %)
	$f_{Ü}$	Abminderung für nicht oder nur partiell bei der Schubkraftübertragung mitwirkende Überlappungsbereiche in Abhängigkeit von der Überlappungsbreite und Fläche der verlegten Bahn
	A	Produkt A_i, i = 1 bis 5 nach EBGEO
	A_1 bis A_3	ist für GTD nicht maßgebend
	A_4	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Kriechverformung, Entschlaufung = 5
	A_5	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen = 2 oder entsprechender Nachweis durch Medienlagerung (siehe Beständigkeit, 3.1 a))

Der Bemessungswert cal. τ ergibt sich mit einem für Deponiebauwerke erhöhten Teilsicherheitsbeiwert γ_m = 1,75

cal. $\tau = \tau_k * 1{,}75$

d) Festlegung der charakteristischen Werte für die innere Scherfestigkeit

Nachweisgrundlage:
Es wird die nach 2.2.1 a) ermittelte charakteristische Scherfestigkeit angegeben. Soweit für eine ausreichende innere Scherfestigkeit eine Schubkraftübertragung durch Fasern/Fäden (Schubbewehrung) erforderlich ist, ist für die Bemessung die zulässige einwirkende Schubspannung durch den Bemessungswert der durch die Fasern / Fäden übertragbaren Schubspannung cal τ nach 2.2.1 c) zu begrenzen.

e) Verbundfestigkeit der produktionsfrischen trockenen GTD

Ziel:
Kennzeichnung der Verbundeigenschaften im Produktionszustand

Nachweisgrundlage:
bei vernadelten Produkten je fünf Schälversuche in Anlehnung an ASTM D6496Ma in Bahnlängsrichtung, bei vernähten Produkten Zugscherversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 13426-2 quer zur Vernähung

f) Verhalten der produktionsfrischen GTD beim Quellen mit und ohne Auflast

Ziel:
Bestimmung von Quelldruck und Verbundfestigkeit, ggf. erforderliche Schutzmaßnahmen durch Mindestauflast unmittelbar nach dem Verlegen

Nachweisgrundlage:
Quellhebung in Abhängigkeit von der Auflast; (Prüfverfahren ASTM D5890)
Verbundfestigkeit (siehe e)

g) Festigkeit von Fügestellen

Ziel:
Charakterisierung der Verbundfestigkeit

Nachweisgrundlage:
Scherversuche wie nach e)

h) Scherfestigkeit in Gleitflächen angrenzender Schichten, sofern sie nicht projektbezogen zu ermitteln sind

Nachweisgrundlage:
Rahmenscherversuche z.B. nach GDA E 3-8 [5]
Im Rahmen der Eignungsbeurteilung für den Einsatz von GTD in Kombination mit Kunststoffdichtungsbahnen muss die grundsätzliche Standsicherheit bei einer Böschungsneigung von 1 : 3 unter Berücksichtigung von Bentonitausquellungen nachgewiesen werden. Dies ersetzt nicht den projektspezifischen Standsicherheitsnachweis

i) Beständigkeit der Eigenschaften nach a) bis f) unter maßgebenden nicht mechanischen Einwirkungen (siehe Nr. 3 Beständigkeit)

Die Beständigkeit der Eigenschaften nach a) bis f) kann angenommen werden, wenn die Versuche nach a) ohne die Verbundwirkung (Schubbewehrung) geotextiler Komponenten (z. B. Verbundfasern bzw. -fäden) durchgeführt werden (vereinfachter Nachweis).

Die langzeitig tatsächlich vorhandene Scherfestigkeit und vorhandenen Reibungseigenschaften können von den Kurzzeitwerten durch die Auswirkung von Kriech- und Alterungsvorgängen stark abweichen. Es ist daher anzugeben, für welchen Zeitraum die Beständigkeit unter den die innere Scherfestigkeit und Reibungseigenschaften beeinflussenden Faktoren gemäß Nr. 3 nachgewiesen wurde. Dieser wird in die Eignungsbeurteilung aufgenommen, damit die zuständige Behörde dies bei Prüfung der Entlassung der Deponie aus der Nachsorge nach § 11 Absatz 2 DepV berücksichtigen kann.

j) Mechanische Eigenschaften des eingebauten Materials

Übertragbarkeit der Laborwerte nach a), b), c) auf Feldwerte unter Berücksichtigung von Einbaubedingungen, Materialstreuungen, Verarbeitungsstreuungen; Angabe von auf der sicheren Seite liegenden Mittelwerten

Ziel:
Angabe dieser Werte in der abfallrechtlichen Zulassung für projektbezogene Nachweise der Standsicherheit und Verformungssicherheit des Abdichtungssystems, projektbezogener Nachweis höherer Werte möglich, ggf. Hinweise zur Herstellung der Dichtungsschicht in Einbauanweisung

Nachweisgrundlage:
z. B. statistische Auswertungen von QM-Protokollen ausgeführter Maßnahmen oder Angabe von charakteristischen Werten auf der Basis von DIN 4020

2.2.2 Hydraulische Widerstandsfähigkeit

Unter Berücksichtigung von *Nr. 2.2.4* sind Angaben bzw. Nachweise zur äußere Erosions- und Suffosionssicherheit infolge von auf der Dichtungsoberfläche in der Dränschicht abfließenden Wassers zu erbringen:

Nachweisgrundlage:
Überströmungsversuche gemäß Franzius-Institut oder Turbulenztest der BAW nach RPG 6.2 oder Angabe von Schutzmaßnahmen bzw. Angabe von Schutzmaßnahmen

3 Beständigkeit und Alterung
(siehe *Nr. 2.3*)

Im Hinblick auf die Dichtigkeit und die mechanische Widerstandsfähigkeit wird in *Nr. 2.3* die Beständigkeit der Dichtung gefordert. Die allgemeinen Anforderungen ergeben sich aus *Nr. 2.3.1*. Für die einzelnen möglichen Einwirkungen sind die Anforderungen in *Nr. 2.3.2* genannt. *Nr. 2.3.3* enthält allgemeine Vorgaben der Nachweisführung.

Der Nachweis der Beständigkeit erfolgt unter Berücksichtigung von *Nr. 2.3.3.*

3.1 Alterung und Kriechen

Um das Langzeit-Scherkriechverhalten von Schubbewehrungen von GTD beurteilen zu können, sind geeignete Scherkriechversuche durchzuführen, die das Kriechverhalten der PP-Fasern oder PP-Nähgarne in einer GTD unter systemtypischer Beanspruchung zutreffend erfassen. Darüber hinaus unterliegen die Kunststoffe einer Alterungsbeanspruchung durch thermische Oxidation und durch Stabilisatormigration. Die Oxidation findet vornehmlich an der Luft statt. Hingegen werden die Stabilisatoren in Wasser ausgelaugt. Beide Vorgänge sind gesondert zu betrachten, da GTD im Oberflächenabdichtungssystem einer Deponie an der Oberseite eher trockene sauerstoffreiche und in der GTD feuchte und sauerstoffarme Verhältnisse vorfinden.

Prinzipiell sind die Einflüsse des Kriechens und die Einflüsse der Alterung separat zu erfassen, denn eine Beurteilung jedes einzelnen Langzeiteinflusses ist nur mit getrennt ablaufenden Versuchen möglich. Gleichwohl liefern auch Untersuchungen mit kombinierten Einwirkungen, wie sie beispielsweise von der BAM durchgeführt werden, Ergebnisse, die zur Beurteilung des Langzeit-Scherkriechverhaltens sehr gut geeignet sind.

Versuchsmethodik:

1. Langzeit-Beständigkeit der geotextilen Komponenten (Gewebe, Vliesstoff und/oder Nähgarn) gegenüber Oxidation und Auslaugung

   a) Untersuchung der Alterung durch thermische Oxidation der geotextilen Komponenten im Umluftwärmeofen in Anl. an DIN EN ISO 13438 - Methode A oder B

   b) Untersuchung der Auslaugung von Antioxidantien aus den geotextilen Komponenten im Wasserbad in Anl. an DIN EN 14415

   alternativ zu 1a) + 1b):

   c) Untersuchung der Alterung durch thermische Oxidation und der Auslaugung von Antioxidantien der geotextilen Komponenten im Hochdruck-Autoklaven bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichen Sauerstoffdrücken in Anl. an DIN EN ISO 13438 - Methode C

Prüftemperaturen:	80°C bei Sauerstoffdruck von 50 bar, 20 bar und 10 bar 70°C und 60°C bei Sauerstoffdruck von 50 bar
Prüfdauer:	bis zum Erreichen einer Restfestigkeit von 50%

   Die gemäß 1a) bis 1 c) zu bestimmende Zeit bis zum Erreichen der "Restfestigkeit von 50%" lässt sich nur indirekt ermitteln, indem Messungen der Zugfestigkeit nach gewählten Zeiten - beispielsweise nach 3, 6, 9, 12 und 14 Monaten - vorgenommen werden, und diese in einem Diagramm abhängig von der Zeit aufgetragen werden. Neben der Zugfestigkeit muss die Veränderung der Stabilisierung gemessen werden. Bei mit sterisch gehinderten Phenolen und Phosphiten stabilisierten Materialien kann dazu die OIT-Messung angewendet werden. Bei mit sterisch gehinderten Amiden (HAS) stabilisierten Materialien kann in vielen Fällen ein Verfahren aus Extraktion und eine UV-spektroskopische Untersuchung an der sich schließlich ergebenden Lösung eingesetzt werden. Das Verfahren wird in (Freitag, W., 1983. Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie 316, 495-496) beschrieben. In besonderen Fällen kann auch mit einer HPLC-Messung am Extrakt die Stabilisatorkonzentration gemessen werden, siehe dazu: https://www.tes.bam.de/de/mitteilungen/abfallrecht/b17_art_konzentration_antioxidantien.pdf

3.2 Langzeit-Scherfestigkeit von GTD

a) *Prüfung des Scherkriechverhaltens der GTD im „Scherkriechkasten“ in Anl. an DIN EN ISO 25619-1*)*

Prüfbedingungen:
Flächige Fixierung der Messprobe zwischen zwei Nagelplatten
Messprobengröße: ca. 200 x 200 mm
(Eine Mindestfläche der Messprobe von 100 mm x 100 mm kann ausreichend sein, insbesondere wenn mindestens zwei Parallelversuche durchgeführt werden.)
Prüfmedium: Leitungswasser (ca. 2 l pro 100 g Bentonit, Verdunstung ausgleichen)
Anzahl der Versuche: 1 Versuch
Belastung: Normalspannung von 50 kPa
Schubspannungen von 20 kPa
Prüfdauer: bis zum Versagen (max. 10.000 h)
Prüftemperatur des Wassers: 80 °C

*) OIT-Werte und/oder Stabilisatorgehalte nach Ende der Einlagerungszeit bestimmen

Wenn die Messprobe bei 80°C nach 10.000 Stunden unter der Belastung von 50 kPa Normalspannung und 20 kPa Schubspannung infolge Scherversagen nicht bricht, kann man mit Hilfe des Arrhenius-Gesetzes schlussfolgern, dass die Probe bei niedrigeren Anwendungstemperaturen eine entsprechend lange Lebensdauer aufweist.

Für diese Abschätzung nach Arrhenius kann man ohne Kenntnis der entsprechenden Aktivierungsenergie für die geotextilen Komponenten als erste Näherung eine typische Aktivierungsenergie von E_A von 65 kJ/mol ansetzen. Mit Nachweis einer Aktivierungsenergie für das jeweilige Produkt unter Verwendung von Prüfergebnissen bei unterschiedlichen Temperaturen kann die nachgewiesene Aktivierungsenergie für die Lebensdauerabschätzung nach Arrhenius angewandt werden.

Für einen vereinfachten Nachweis gemäß Nr. 2.2.1 i), 1. Absatz, bedarf es keiner Begutachtung der Beständigkeit der geotextilen Verbundfasern bzw. -fäden.

3.3 Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse

Für die rechnerischen Nachweise der Abdichtungswirkung nach 2.1 sind zur Berücksichtigung von Materialveränderungen infolge der nachfolgend genannten Einwirkungen entsprechende Anpassungsfaktoren $A_{1,n}$ zu bestimmen. Ggf. kann in Abhängigkeit von den materialspezifischen Empfindlichkeiten die Festlegung weiterer Anpassungsfaktoren für hier nicht berücksichtigte Einflüsse erforderlich werden.

3.3.1 Beständigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser

Unter Berücksichtigung von *Nr. 2.3.2.1* sind folgende Angaben bzw. Nachweise zur Beständigkeit der dichtenden und mechanischen Eigenschaften des Dichtungselements zu erbringen:

a) Beständigkeit der geotextilen Komponenten siehe 3.1

b) Beständigkeit der dichtenden Eigenschaften des Bentonits

- Einfluss des Porenwassers bei verschiedenen Härten und oxidierenden und reduzierenden Bedingungen und pH-Werten zwischen 4 und 11 (Plausibilitätsbetrachtung)

Nachweisgrundlagen:
Es sind mögliche Veränderungen der Kationenbelegung mit der Folge veränderter Dichtungseigenschaften zu untersuchen bzw. anhand von derzeitigen Erkenntnissen zu bewerten, Bestimmung des Faktors A_2 nach EGLOFFSTEIN [1].

Als maßgebende Kenngröße für die Veränderung der Kationenbelegung gelten das Quellvermögen nach ASTM D5890-95 und die Wasseraufnahme nach DIN 18132.

3.3.2 Beständigkeit gegenüber Organismen

Unter Berücksichtigung von *Nr. 2.3.2.2* sind Angaben bzw. Nachweise zur Beständigkeit der dichtenden und mechanischen Eigenschaften des Dichtungselements gegenüber den Einwirkungen von Mikroorganismen zu erbringen.

Nachweisgrundlagen:
Nachweise sind für PP und PE nicht erforderlich,
für andere Rohstoffe Nachweise unter Berücksichtigung DIN EN 12225
unter Berücksichtigung von [3]

Gegenüber Einwirkungen von Pflanzenwurzeln (Feuchtigkeitsentzug, Perforation) und grabende Tiere (Perforation) sind GTD nicht beständig, so dass Schutzmaßnahmen gemäß 5 notwendig werden.

3.3.3 Beständigkeit gegenüber Witterung und Wassergehaltsänderungen

Beständigkeit erscheint nicht nachweisbar, so dass Schutzmaßnahmen gemäß 5 notwendig werden.

3.3.4 Beständigkeit gegenüber Gasen

Unter Berücksichtigung von *Nr. 2.3.2.8* sind für die Beurteilung der Auswirkung von Gasen im Rahmen der Zulassungsprüfungen folgende Nachweise zu erbringen:

Beständigkeit gegenüber den wesentlichen Deponiegasinhaltsstoffen

Nachweisgrundlage:
Durchströmungsversuch

4 Fehlerausgleich bei Kombination mit KDB (Pressverbund)

Eine als zweite Abdichtungskomponente unter einer Kunststoffdichtungsbahn vorgesehene GTD soll eine fehlerausgleichende Wirkung besitzen und somit den Ausfluss aus einer möglichen Perforation der KDB maßgeblich behindern. Das Eindringen von Wasser zwischen KDB und mineralischer Dichtung darf die Standsicherheit nicht gefährden. Zur Abführung des bei Perforationen der KDB in das trennende Element eindringenden Wassers sind ggf. konstruktive Maßnahmen vorzusehen.

Nachweisgrundlage:
Versuch gemäß Anhang 2

5 Schutzmaßnahmen

Zur Vermeidung von Dichtigkeitsbeeinträchtigungen infolge Beanspruchungen aus Verlegung und ggf. Baustellenverkehr und Feuchtigkeitsentzug sowie Einwirkungen von Witterung und Organismen sind folgende Bedingungen beim Entwurf des Abdichtungssystems unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten einzuhalten:

Trag- und Ausgleichsschicht:

- Die Oberfläche der Trag- und Ausgleichsschicht muss eben, frei sein von scharfkantigen oder spitzen Bestandteilen sowie frei von aufliegenden Bestandteilen größer 5 mm, die zu einer mechanischen Beschädigung der geosynthetischen Tondichtungsbahnen führen können.

- Die Verdichtung muss so erfolgen, dass bei der Verlegung durch Baustellenfahrzeuge keine Spurrillen und keine Sprünge vorhanden sind. Walzkanten bis 5 mm sind tolerierbar. Hierfür ist ein Nachweis im Probefeld erforderlich.

- Zur Minimierung eines Wasserdampftransports nach unten soll für die oberen 30 cm der Trag- und Ausgleichschicht weitgestuftes Material (Ungleichförmigkeit $U \geq 6$, Krümmungszahl Cc 1 bis 3) im Körnungsbereich von 0 bis 20 mm eingesetzt werden. Der Feinkornanteil (Schluff und Ton) soll nicht mehr als 20 Masse-% betragen. Ein

Überkorn bis 32 mm ist zulässig, wenn dieses schwimmend eingebettet ist. Nicht weitgestuftes Material kann eingesetzt und / oder die Dicke auf 15 cm reduziert werden, wenn aufgrund der Abfalleigenschaften ein Wasserdampftransport aus der GTD nach unten ausgeschlossen werden kann.

- Eine ggf. erforderliche Gasdränage ist unterhalb der Trag- und Ausgleichsschicht bzw. als unterer Teil der Trag- und Ausgleichsschicht anzuordnen

Entwässerungsschicht:

- Mineralische Entwässerungsschicht:
- Größtkorn auf 8 mm beschränkt (10 Gew.-% Überkorn bis 16 mm zulässig
- Geotextile Entwässerungsschichten (Dränmatten) mit Zulassung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- Anordnung einer mindestens 10 cm dicken Sandschicht (SE, SW, SU) als untere Lage der Entwässerungsschicht zur Erhöhung des Schutzes gegen Austrocknen der GTD

Rekultivierungsschicht:

- Aufbau und Dimensionierung gemäß Anhang 1

6 Herstellbarkeit

(siehe *Nr. 2.4*)

Die Herstellung der Dichtung erfolgt durch den Einbau der Dichtungsmaterialien. Nach *Nr. 2.4* müssen die Abdichtungskomponenten unter Bedingungen, wie sie auf Deponiebaustellen herrschen, so verarbeitet werden können, dass sie die in der Eignungsprüfung nachgewiesenen Leistungen mit ausreichender Sicherheit im eingebauten Zustand erbringen.

Unter Berücksichtigung der Festlegungen in den Grundsätzen ist die Herstellbarkeit durch Angaben zu folgenden Punkten nachzuweisen:

- Herstellungsvoraussetzungen (*Nr. 2.4.2*)
- Herstellungsverfahren (*Nr. 2.4.3*)
- Empfindlichkeit gegenüber Einbaubeanspruchungen (*Nr. 2.4.4*)
- Prüfung der Qualitätsmerkmale (*Nr. 2.4.5*)
- Nachbesserungsmöglichkeit, Reparierbarkeit (*Nr. 2.4.6*)

Zur Verlegung von GTD in Kombination mit einer KDB sind Angaben zu folgenden Punkten erforderlich:

- Maßnahmen vor dem Verlegen der KDB (Fremdkörper),
- Ausrichten / Verschieben einer KDB mit strukturierter Oberfläche auf der GTD,
- Verfahren zur Verlegung unter Berücksichtigung der Nichtbefahrbarkeit der GTD,
- Herstellen von Schweißnähten der KDB im Überlappungsbereich der GTD und
- Schutzmaßnahmen vor dem Verlegen der KDB gegen Feuchtigkeit
- Schutz gegen Aufquellen infolge Kondensatbildung

Nachweise der grundsätzlichen Herstellbarkeit können anhand von ausgeführten Referenzobjekten ggf. auch in vergleichbaren Einsatzgebieten oder durch Probefelder erbracht werden.
Transport und Lagern sowie Einbau ggf. unter Berücksichtigung weiterer Komponenten der Dichtung sind in einer detaillierten Einbauanleitung zu beschreiben (s. auch *Nr. 2.4.3*)

7 Sonstige Anforderungen an die Abdichtung

(siehe *Nr. 2.5*)

Unter Berücksichtigung der Festlegungen in den BQS 5-0 sind Nachweise zu folgenden Punkten bei der Konzeption einer Dichtung vorzulegen:

- Stand der Technik (*Nr. 2.5.1)*
- Materialstreuungen, Fehlerausgleich (*Nr. 2.5.2*)
- Empfindlichkeit (*Nr. 2.5.3*)
- Verbund von Lagen und Schichten (*Nr. 2.5.4*)
- Imperfektionen (*Nr. 2.5.5)*
- Verträglichkeit der Materialien (*Nr. 2.5.6*)
- Kontrollierbarkeit (*Nr. 2.5.7*)
- Frostsicherheit (*Nr. 2.5.8*)
- Robustheit (*Nr. 2.5.9*)
- Umweltverträglichkeit (*Nr. 2.5.10*)
- Dichtigkeit von Anschlüssen und Durchdringungen
- ggf. Beständigkeit gegenüber Temperaturen > 30°(Abdichtung von organisch aktiven Altdeponien vor Abklingen der Hauptabbauprozesse)

GTD besitzen systembedingt nur eine relativ geringe Dicke. Um dennoch eine ausreichende Sicherheit insbesondere in Bezug auf einen möglichen Fehlerausgleich und einen Ausgleich von Imperfektionen zu erhalten sowie eine ausreichende Robustheit zu gewährleisten, sind die Mindestanforderungen der EAG-GTD an geosynthetische Tondichtungsbahnen (*s. GDA E 2-36)* einzuhalten.

8 Qualitätsmanagement bei Herstellung und Verlegung

(siehe *Nr. 3)*

Das Qualitätsmanagement bei der Herstellung des Dichtungsmaterials sowie dessen Einbau als mineralische Dichtung erfolgt nach den grundsätzlichen Angaben in *Nr. 3*. Dabei sind die Ausgangsstoffe, die Vorprodukte und das Endprodukt eindeutig zu beschreiben sowie Angaben zur Qualitätslenkung der Herstellung und der Verlegung zu machen.

Die Qualitätsüberwachung ist mindestens in dem in Anhang 4 genannten Umfang vorzunehmen. Weiterhin ist die Anlage 4.2 „Standard zur Qualitätsüberwachung (SQÜ) - Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)“ der „Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau“ der - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zu berücksichtigen.

9 Technische Bezugsdokumente

<u>REGELUNGEN DES BUNDES UND DER LÄNDER</u>

Bund

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV); Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009 (BGBl I Nr. 22 vom 29. April 2009 S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. I Nr. 225)

Bund

TA Abfall - Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, vom 12. März 1991 (GMBl. Nr. 8 S. 139), zuletzt geändert am 21. März 1991 (GMBl. Nr. 16 vom 23.05.1991 S. 469)

Bund

TA Siedlungsabfall - Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, vom 14. Mai 1993 (BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993)

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-0 Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten - übergreifende Anforderungen vom 04.12.2014

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW):

BAW-Richtlinie Prüfung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau (RPG), Ausgabe 2021

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM):
Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen, Berlin, 14. Auflage, Mai 2024

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM):
Richtlinie für die Zulassung von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen in Deponieabdichtungen, Berlin, 12. Auflage, Mai 2024

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM):
Anlage 4.2 „Standard zur Qualitätsüberwachung (SQÜ) - Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)“ der „Richtlinie für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle für Kunststoffkomponenten im Deponiebau“, Berlin, Mai 2024

BERATUNGSUNTERLAGEN (BU) des SVA "Deponieabdichtungen mit mineralischen Baustoffen" des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)

BU III-60A	Zulassungskonzept für Bentonitmatten in Oberflächendichtungen der deponieklasse I unter besonderer Berücksichtigung der Austrocknungsproblematik
BU III-63A	Randbedingungen für die Zulassung von zweilagig zu verlegenden Bentonitmatten für Oberflächendichtungen der Deponieklasse I
BU III-66	Bewertung der Dichtigkeitseigenschaften von Bentonitmatten
BU III-67	Zur Frage der Alterung geotextiler Komponenten in Bentonitmatten und ihre Berücksichtigung in bauaufsichtlichen Zulassungen
BU III-68 u.III-68.1	Zur Festlegung von charakteristischen Werten für die Scherfestigkeiten von Bentonitmatten für den Nachweis der Standsicherheit, Bestimmung der inneren Scherfestigkeit von GTD im Schergerät
BU III-75	Austrocknungsversuche zum Eignungsnachweis für eine einlagige Verlegung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungssystemen der Deponieklasse I

NORMEN

DIN EN ISO 4892-3:2025-04
Kunststoffe - Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 3: UV- Leuchtstofflampen

DIN EN ISO 5079:2021-02
Textilfasern - Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung an einzelnen Fasern

DIN EN ISO 9863-1:2020-04
Geokunststoffe - Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken - Teil 1: Einzellagen

DIN EN ISO 9864:2005-05
Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten

DIN EN ISO 10319:2025-02
Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen

DIN EN 13257:2016-12
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Deponien für feste Abfallstoffe

DIN EN ISO 13426-2:2024-09
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Festigkeit produktinterner Verbindungen - Teil 2: Geoverbundstoffe

DIN EN ISO 13438:2019-05
Geokunststoffe - Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten

DIN EN ISO 13934-1:2013-08
Textilien - Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden - Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch

DIN EN ISO 17892-1:2022-08
Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts

DIN EN ISO 25619-1:2021-08
Geokunststoffe - Bestimmung des Druckverhaltens - Teil 1: Eigenschaften des Druckkriechens

DIN EN 1997-2:2010-10
Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

DIN EN 12224:2000-11
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Witterungsbeständigkeit

DIN EN 12225:2021-01
Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der mikrobiologischen Beständigkeit durch einen Erdeingrabungsversuch

DIN EN 13493:2018-07
Geosynthetische Dichtungsbahnen - Eigenschaften, die für die Anwendung beim Bau von Deponien und Zwischenlagern für feste Abfallstoffe erforderlich sind

DIN EN 14414: 2004-08
Geokunststoffe - Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der chemischen Beständigkeit bei der Anwendung in Deponien

DIN EN 14415:2004-08
Geosynthetische Dichtungsbahnen - Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Auslaugen

DIN EN 14196:2016-08
Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von geosynthetischen Tondichtungsbahnen

DIN EN 16416:2023-04
Geosynthetische Tondichtungsbahnen - Bestimmung der Durchflussrate - Triaxialzellen-Methode mit konstanter Druckhöhe

DIN 4020:2010-12
Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

DIN EN ISO 17892-12:2022-08
Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen

DIN 18127:2012-09
Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Proctorversuch

DIN EN ISO 17892-11:2021-03 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

DIN 18132:2012-04
Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens

DIN 18137-1:2010-07
Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen

DIN EN ISO 17892-8:2018-07

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 8: Unkonsolidierter undränierter Triaxialversuch

DIN EN ISO 17892-9:2018-07

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 9: Konsolidierte triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden

ASTM D5890:2025

Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Componente of Geosythetic Clay Liners

ASTM D6496Ma: 2023

Standard Test Method for Determining Average Bonding Peel Strength Between Top and Bottom Layers of Needle-Punched Geosynthetic Clay Liners

VDG P 69

Bindemittelprüfung - Prüfung von Bindetonen

EMPFEHLUNGEN TECHNISCHER FACHVERBÄNDE

EAG-GTD

„Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT): Ernst & Sohn, 2002

EBGEO

„Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT):, Verlag Ernst und Sohn, DGGT, 2010

GDA E 2-31

„Rekultivierungsschichten“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) Empfehlungen „Geotechnik der Deponien und Altlasten“, Juni 2010

GDA E 2-32

„Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) Empfehlungen „Geotechnik der Deponien und Altlasten“, Januar 2010

GDA E 3-8

„Reibungsverhalten von Geokunststoffen“ , Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) Empfehlungen „Geotechnik der Deponien und Altlasten“, August 2015

LITERATUR / SONSTIGES

[1] Egloffstein, T.
Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien, ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, 2000

[2] Franzius-Institut
Versuchsstand zur Bestimmung der inneren Erosionsfestigkeit, Universität Hannover, Welfenstraße 1, 30167 Hannover

[3] Wienberg, R., Gerth, J., Silla, M.
Biochemische Beständigkeit von organisch modifizierten Baustoffen für die Altlastensanierung - Altlastenspektrum 6 (3), 1997

Anhang 1: Schutzmaßnahmen gegen schädliche Wasserspannungen in geosynthetischen Tondichtungsbahnen

Sofern der Austrocknungs- und Wurzelschutz der GTD nicht durch eine aufliegende Kunststoffdichtungsbahn gewährleistet wird, sind diese vorrangig von der Rekultivierungsschicht und einer auf der GTD als unterer Teil der Entwässerungsschicht anzuordnende Wasser speichernden Sandschicht sicherzustellen.

Die Rekultivierungsschicht muss einen ausreichenden Bodenwasservorrat und den Pflanzen einen genügenden Wurzelraum zur Verfügung stellen (siehe auch GDA-Empfehlungen E2-31 und E2-32).

Soweit die GTD nicht durch eine BAM-zugelassene Kunststoffdichtungsbahn geschützt wird, ist die Dicke der Rekultivierungsschicht unter Berücksichtigung

- der Empfindlichkeit der mineralischen Abdichtungskomponente,
- der meteorologischen Standortbedingungen,
- der möglichen Wurzeltiefe der natürlichen potenziellen Vegetation des Standortes und
- der eingesetzten Böden

so zu dimensionieren, dass keine schädlichen Wasserspannungen auf die mineralische Abdichtungskomponente einwirken können.

Bei Einhaltung der nachfolgenden Kriterien kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die o.g. Ziele erreicht werden:

- Mächtigkeit $\geq$ 1,50 m; je nach örtlichen klimatischen und pflanzenstandortspezifischen Gegebenheiten sowie ggf. auch abhängig von der späteren Nutzung (z. B. Wald) größere Rekultivierungsschichtdicken erforderlich sein.
- Die eingebaute Bodenschicht soll eine ausreichende nutzbare Feldkapazität (nFK) aufweisen, damit die Pflanzen in sommerlichen Trockenperioden nicht absterben und ein durch den Trockenstress hervorgerufenes Tiefenwachstum der Wurzeln verhindert wird. Hierfür soll die nutzbare Feldkapazität mindestens 200 mm betragen.
- Zur Sicherstellung einer ausreichenden Nährstoffversorgung sollte im oberen Bereich der Rekultivierungsschicht ($\approx$ 30 cm) humoses Material verwendet werden (Oberboden). § 12 BBodSchV ist zu beachten.

Es ist eine mindestens 10 cm dicke Wasser speichernde Sandschicht (SE, SW, SU) auf der [Produktname] einzubauen.

Anhang 2: Beurteilung der Auswirkung des Deckgeotextils auf den Pressverbund - Nachweisverfahren

Bei Versuchen zum Nachweis der Auswirkung des Deckgeotextils auf den Pressverbund sind folgende Versuchsrandbedingungen einzuhalten:

Probe:

- kreisförmig
- Durchmesser D_P = 500 mm

KDB:

- Dicke D_K = 2,5 mm
- glatte Oberfläche
- Loch
    - Durchmesser D_L = 5,0 mm
    - gebohrt oder gefräst
    - ohne Aufkantung

Versuchsdurchführung:

- Versuchsaufbau waagerecht
- Auflast P = 20 kPa
- Probe unter Auflast gequollen
- Temperatur T = 20 °C
- Wasserüberstau über der KDB H = 302,5 mm
- Verhinderung des Auspressens der Probe am Rand
- Ablauf ohne Rückstau in die Probe
- Getrennte Erfassung des Wassers aus der Fuge KDB – Probe und aus der Durchsickerung
- Messung der zu- und ablaufenden Wassermengen bis zur Konstanz

Ergebnisse:

- tabellarische und graphische Darstellung der zu- und ablaufenden Wassermengen (Tageswerte)
- Angabe der Abflussmenge in Liter pro Tag

Anhang 3: Bestimmung der Permittivität nach Erstquellung unter Salzeinwirkung und Ionenaustausch

Zur Bestimmung der Permittivität nach Ionenaustausch sind Versuche mit Prüflösungen mit folgenden Ionenkonzentrationen durchzuführen:

- 0,01 mol/l Calciumchlorid (etwa 2000 µS/cm),
- 0,025 mol/l Calciumchlorid (etwa 5000 µS/cm) und
- 0,05 mol/l Calciumchlorid (etwa 10000 µS/cm)

Für die Versuchsdurchführung gelten folgende Rahmenbedingungen:

1. Umfassende Beschreibung und Dokumentation des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung;
2. Einbau der GTD-Probe in die Prüfzelle (Triaxialzelle d mindestens 100 mm);
3. Langsame, schrittweise (Pkt. 7.4 der DIN EN 16416 beachten) Aufbringung eines Zelldrucks in der Triaxialzelle von 550 kPa bei einem hydraulischen Druck (Einström- und Ausströmdruck) von 515 kPa von mindestens 48 h Dauer. Diese Erstquellung (resultierende Spannung auf die Probe von 35 kPa) erfolgt durch direkte Beaufschlagung mit der Prüflösung. Das Einsetzen der Permeation erfolgt durch schrittweises Erhöhen des Einströmdrucks von 515 kPa auf 530 kPa bei gleichbleibendem Ausströmdrucks. Die mittlere Spannung auf die Probe beträgt somit 27,5 kPa;
4. Erstquellung mit der Prüflösung bei einem möglichst geringen Wasserüberstau bis zur vollständigen Quellung (Ein- und Auslaufwassermenge sind gleich oder Quellhebung ist abgeschlossen) sowie Messung der Permittivität bei einem Wasserüberstau von 1,50 m gemäß DIN EN 16416;
5. Durchströmung mit der jeweiligen Prüflösung gemäß den Anforderungen der DIN EN 16416 für die Permittivität einschließlich Dokumentation des Versuchs nach DIN; Abweichend von DIN EN 16416 Angabe der Permittivität ψ [1/s] für den Probeneinlauf und -auslauf;
6. Bestimmung der Ein- und Auslaufmenge der Prüfflüssigkeit und überschlägige Berechnung des Fortschritts des Ionenaustauschs aus der Konzentration und der Menge der in die Probe einfließenden Prüflösung. Nach Durchlauf einer rechnerisch mindestens fünffach höheren Menge an Calciumionen in mmol (eq) gegenüber den zum Ionenaustausch in der Probe zur Verfügung stehenden Natriumionen (Vergleich einströmende Menge Calcium in mmol(eq) mit der am Bentonit austauschfähig gebundenen äquivalenten Menge an Natrium der Probe in mmol(eq)), chemische Kontrolle des letzten Auslaufes auf Natrium- und Calciumgehalte. Wenn die Natriumgehalte im Verhältnis zu den Calciumgehalten im Perkolat sehr niedrig sind (Orientierungswert: mindestens 1:50), kann die Probe ausgebaut werden. Das Erreichen beider Kriterien ist nachzuweisen[2].

[2] Soweit in begründeten Ausnahmefällen die Abbruchkriterien auch nach langjähriger Versuchsdurchführung aus spezifischen Produkteigenschaften (z.B. stagnierende Permittivität) nicht erreicht werden können bzw. diese nicht als hinreichend erreichbar eingeschätzt werden können, so kann der Nachweis alternativ mittels der im Anhang 3 aufgeführten Prognosemethode zur Ermittlung der Permittivität nach Ionenaustausch auf der Grundlage der vorliegenden langjährigen Versuchsergebnisse und der ermittelten Kennwerte erfolgen.

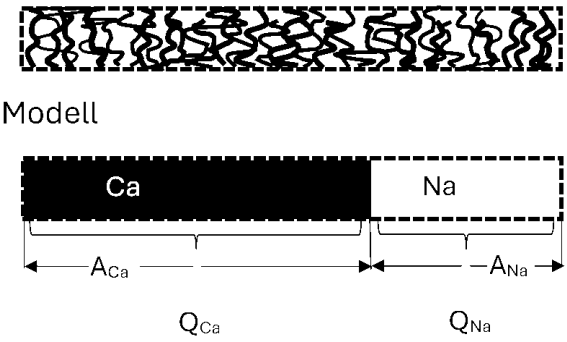
7. Bestimmung der Ionenbelegung an der ausgebauten Probe nach der Silber-Thioharnstoff-Methode mit Calcitsättigung ($AgTU_{Calcit}$). Ziel ist ein Anteil von höchstens 3 % Natrium an der Gesamt-Ionenbelegung des Bentonits, bei dem die Probe als vollständig ionenausgetauscht gelten kann[2].

Prognosemethode

(alternativ zu Ziffer 6 bzw. 7 als Nachweiskriterium der Permittivität nach Ionenaustausch)

Modell - Partialströmung mit Kationenaustausch

Bevorzugte Sickerwege mit Austausch, weiß = Na-Belegung, schwarz = Ca-Belegung



Permittivität der GTD ψ

$$\psi = \frac{q}{h} = \frac{Q}{A \cdot h} \quad \left[\frac{1}{s}\right]$$

Q = Wasserdurchfluss im Zeitraum $\Delta\, t$ $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

q = auf die Fläche A bezogener Wasserdurchfluss im Zeitraum $\Delta\, t$ $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

h = Wasseraufstau über der der Ausflussebene [m]

A = durchströmte Fläche [m²] ≅ durchströmtem Volumen

A‘ = Anteil der durchströmten Fläche bezogen auf Gesamtfläche ≅ Volumenanteil, bzw. Austauschgrad V‘[-]

$$Q_{ges} = Q_{Ca} + Q_{Na} = A_{ges} = q_{Ca} \cdot A_{Ca} + q_{Na} \cdot A_{Na} = q_{ges} \cdot A_{ges}$$

mit $h = h_{Ca} = h_{Na}$

$$\frac{q_{ges} \cdot A_{ges}}{h} = \frac{q_{Ca} \cdot A_{Ca}}{h} + \frac{q_{Na} \cdot A_{Na}}{h}$$

mit $A_{ges} = A_{Ca} + A_{Na} = 1\ bzw.$

$\psi_{ges} \cdot 1 = \psi_{Ca} \cdot A'_{Ca} + \psi_{Na} \cdot A'_{Na}$

(Ermittlung ψ_{ges} gemäß Ziffer 7 bei Ca-Ionen Austausch von 97 % (3 % Natriumionen-Restbelegung) zulässig)

$\psi_{Ca} = \frac{\psi_{ges} \cdot 1 - \psi_{Na} \cdot A'_{Na}}{A'_{Ca}} = \frac{\psi_{ges} \cdot 1 - \psi_{Na} \cdot A'_{Na}}{1 - A'_{Na}}$ (Permittivität bei vollständigem Austausch)

In den Versuchen zur Ermittlung der Permittivität bei Kationenaustausch wird ψ_{ges} ermittelt.

ψ_{Na} = Versuchsergebnisse ohne Kationenaustausch (produktionsfrische GTD)

Die Wichtung der durchströmten Fläche entspricht dem volumenbezogenen Austauschgrad.

So ergibt sich bei einer Na-Restbelegung von x %

$A'_{Na} = V'_{Na} = \frac{x}{100}$; $A'_{Ca} = V'_{Ca} = 1 - \frac{x}{100}$

Nachweisbedingung:

$\psi_{ges} \leq$ zul. ψ und $\psi_{Ca} \leq$ zul. ψ

Der rechnerische Austauschgrad aus der Permeatlösung sowie das Verhältnis Ca- zu Na-Ionen (siehe Ziffer 6) ist anzugeben.

Der rechnerische Kationenaustausch ist an den zur Prognose herangezogenen Proben durch die Ermittlung der tatsächlichen Ionenbelegung mit Ca- und Na-Ionen (Methode siehe Ziffer 7) zu bestimmen und anzugeben.

Literatur:

[1] DOHRMANN, R. 1997: Kationenaustauschkapazität von Tonen - Bewertung bisheriger Analysenverfahren und Vorstellung einer neuen und exakten Silber-Thioharnstoff-Methode.- Diss. RWTH Aachen, AGB-Verlag Nr. 26, 234 S. ISBN: 3-86073-605-1

Anhang 4: Qualitätsüberwachung geosynthetischer Tondichtungsbahnen

1 Eigenüberwachung (EÜ) und Fremdüberwachung (FÜ)

1.1 Eigenüberwachung (EÜ)

Die Eigenüberwachung (entsprechend der werkseigenen Produktionskontrolle) ist durch den Hersteller während der Produktion der Vorprodukte und der Produktion geosynthetischen Ton-Dichtungsbahn durchzuführen und entsprechend den Bestimmungen der Eignungsbeurteilung zu dokumentieren. Es sind die in den Tabellen des Abschnittes 2.3 mit "EÜ" gekennzeichneten Kontrollen und Prüfungen vorzunehmen.

1.2 Fremdüberwachung (FÜ)

Die Fremdüberwachung erfolgt durch eine kompetente Überwachungsstelle in regelmäßigen Abständen mindestens zweimal jährlich. Bei nicht kontinuierlicher Herstellung erfolgt die Überwachung mindestens einmal pro Halbjahr, sofern das Produkt in diesem Halbjahr mindestens einmal produziert wird. Sie besteht aus der Überprüfung der EÜ sowie eigenen Stichprobenprüfungen am Produkt durch den Fremdüberwacher.

Es sind die in den Tabellen des Abschnittes „Art und Häufigkeit der Prüfungen bei der Produktherstellung und bei der Fremdüberwachung“ mit "FÜ" gekennzeichneten Kontrollen/Prüfungen vorzunehmen. Die Ergebnisse der Überwachung sind vom Fremdüberwacher in einem Prüfbericht zusammenzufassen.

1.3 Art und Häufigkeit der Prüfungen bei der Produktherstellung und bei der Fremdüberwachung

In den folgenden Tabellen sind die Eigenschaften, Normen und Kennwerte mit Grenzwerten (GW) und Anzahl der Prüfungen über die Rollenbreite (n) definiert. Wenn n > 1, gilt für Kennwerte und Grenzwerte der Mittelwert aus n Prüfungen, wenn n = 1 gilt der Einzelwert.

EÜ - Eigenüberwachung (entsprechend WPK - Werkseigene Produktionskontrolle)

FÜ - Fremdüberwachung

1.3.1 Gewebe als Träger- oder Deckgeotextil

Eigenschaft	Norm	Kennwert	GW	n	EÜ
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ g/m²	10	jede Lieferung
Höchstzugkraft längs/quer	DIN EN ISO 10319 oder DIN EN ISO 13934-1	md: kN/m cmd: kN/m	≥ kN/m ≥ kN/m	5 5	jede Lieferung jede Lieferung
Dehnung bei Höchstzugkraft längs/quer	DIN EN ISO 10319 oder DIN EN ISO 13934-1	md: % cmd: %	≥ % ≥ %	5 5	jede Lieferung jede Lieferung

1.3.2 Vliesstoff* oder Vliesstoff-Gewebe Kombination als Träger-, Zwischen oder Deckgeotextil (siehe auch 1.3.2)

Im Falle einer Eigenfertigung gelten die Anforderungen je m², im Fall einer Wareneingangskontrolle gelten die Anforderungen je Lieferung.

Eigenschaft	Norm	Kennwert	GW	n	EÜ
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864	g/m²	≥ g/m²	10	alle 5.000 m² 2 x je Lieferung
Schichtdicke	DIN EN ISO 9863-1	mm	≥ mm	10	alle 5.000 m² 2 x je Lieferung

*) Im Falle eines zusätzlichen Vliesstoffes (Stützgeotextils) von ≤ 100 g/m² wird nur die Masse pro Flächeneinheit getestet.

1.3.3 Bentonit

Eigenschaft	Norm	Kennwert/GW	n	EÜ	FÜ
Quellvolumen	ASTM D5890	≥ ml	1	alle 25 to.	X
Montmorillonitgehalt	VDG P 69	≥ mg/g	1	Alle 100 to oder 1 x je Produk-tionscharge des Lieferanten	X
Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1	≤ %	1	alle 25 to.	X

1.3.4 Tondichtungsbahn

Eigenschaft	Norm	Kennwert	GW	n	EÜ	FÜ
Bentoniteinlage bezogen auf einen Wassergehalt 0 Gew.-%	DIN EN 14196, $\rho_{TON,\ 0\%}$	g/m²	≥ g/m²	5	alle 5.000 m²	X
Masse pro Flächeneinheit (bezogen auf Wassergehalt ≤ xx Gew.-%)	DIN EN 14196, $\rho_{GBR\text{-}C}$	g/m²	≥ g/m²	5	alle 5.000 m²	X
Masse pro Flächeneinheit einer Zusatzausrüstung	in der Eignungsbeurteilung festgelegte Werksverfahren	g/m²	≥ g/m²	5	alle 5.000 m² *	X
Höchstzugkraft längs/quer**	DIN EN ISO 10319	md: kN/m cmd: kN/m	≥ kN/m ≥ kN/m	5 5	alle 15.000 m² alle 15.000 m²	X X
Dehnung bei Höchstzugkraft längs/quer**	DIN EN ISO 10319	md: % cmd: %	≥ % ≥ %	5 5	alle 15.000 m² alle 15.000 m²	X X
Verbindungs-festigkeit bestimmt als Mittlere Schäl- festigkeit längs oder Schäl- oder Zugscherfestigkeit längs/quer	 ASTM D6496Ma oder DIN EN ISO 13426-2	 N/m kN/m	 ≥ N/m N/m	5 5	alle 10.000 m² alle 20.000 m²	X X
K-Wert	DIN EN 16416 (i=150, ca. 30 kPa Auflast, d=1 cm)	m/s	≤ m/s	1	alle 15.000 m²	X
Permittivität	DIN EN 16416 (i=150, ca. 30 kPa Auflast)	1/s	≤ 1/s	1	alle 15.000 m²	X

* Die Prüfintervalle dürfen ohne nachvollziehbare fachliche Begründung, z. B. Auswertung bisheriger Werksprüfzeugnisse, nicht unterschritten werden.

** Messung über den Traversenweg zulässig

2 Qualitätsüberwachung bei der Verlegung

2.1 Produktidentifikation vor der Verlegung

Vor der Verlegung ist das Produkt zu identifizieren und im Hinblick auf die Übereinstimmung wesentlicher Eigenschaften mit den Besonderen Bestimmungen der Eignungsbeurteilung zu überprüfen.

Eigenschaft	**Norm**	**Kennwerte, Grenzwerte und n siehe 1.3.4**	**EP**	**FP**
Lieferidentität anhand der Lieferpapiere und Etiketten	DIN EN 13493	-	jede Lieferung	jede Lieferung
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN 14196, ρ_{GBR-C}	g/m²	-	mind. 1 x je Lieferung, alle 2.500 m²
Bentoniteinlage bezogen auf einen Wassergehalt 0 Gew.-%	DIN EN 14196, $\rho_{TON, 0\%}$	≥ g/m²	-	alle 2.500 m²
Höchstzugkraft [1, 2]	DIN EN ISO 10319	md: kN/m cmd: kN/m	-	alle 10.000 m² alle 10.000 m²
Dehnung bei Höchstzugkraft [1, 2]	DIN EN ISO 10319	md: % cmd: %	-	alle 10.000 m² alle 10.000 m²
Verbindungsfestigkeit bestimmt als Schälfestigkeit längs oder Schälfestigkeit oder Zugscherfestigkeit längs/quer	ASTM D6496Ma oder DIN EN ISO 13426-2	N/m N/m	-	alle 7.500 m²
Permittivität	DIN EN 16416 (i=150, ca. 30 kPa Auflast)	1/s	-	alle 7.500 m²

[1)] Messung über den Traversenweg zulässig

[2)] alternativ kann der Parameter nach DIN EN 29073-3:1992-08 bestimmt werden, wenn in der Eignungsbeurteilung nach diesem Verfahren bestimmte Korrelationsfaktoren verankert sind.

2.2 Verlegevoraussetzungen

Die nachfolgenden Kriterien sind von Eigen- und Fremdprüfung vor Beginn der Verlegung zu kontrollieren

Kriterien	Anforderung
Verlegepläne mit Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Arbeiten	Prüfung auf Vollständigkeit
Planumseigenschaften	Einhaltung der Vorgaben aus der Eignungsbeurteilung und dem Probefeld
Böschungslängen und -neigungen	Einhaltung der Vorgaben aus der Deponiezulassung und den Verlegeplänen
Abmessungen von Einbindegräben	Einhaltung der Vorgaben aus der Deponiezulassung
Witterungsbedingungen	Einhaltung der Vorgaben aus der Eignungsbeurteilung und der Verlegeanleitung
Art des Überschüttungsmaterials	Einhaltung der Vorgaben aus der Eignungsbeurteilung und dem Probefeld

2.3 Verlegung

Die Tondichtungsbahn ist nach den Vorgaben der Verlege- bzw. Einbauanleitung zu verlegen. Die nachfolgenden Kriterien sind während der Verlegung ständig zu kontrollieren. Dies setzt die ständige Anwesenheit des Fremdprüfers voraus.

Eigenschaft	Anforderung
Transport auf der Baustelle	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Verlegeverfahren	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung und dem Probefeld
Verlegerichtung	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung und dem Verlegeplan
äußere Beschaffenheit und Planlage	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Überlappungsausführung	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Überlappungsbreiten	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Ausführung von Anschlüssen, Durchdringungen	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung und dem Probefeld
Teilabnahme vor Ausführung der Überschüttung	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Aufbringen der Überschüttung	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung und dem Probefeld
Witterungsschutz bei Bauunter-brechungen	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung
Reparaturmaßnahmen	Einhaltung der Vorgaben aus der Verlegeanleitung