

Zur Bemessung von Kunststoff-Dränelementen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff

1. Einleitung

Kunststoff-Dränelemente (in EAG-Drän geosynthetische Dränmatten genannt) sind industriell vorgefertigte, flächenartige Elemente zur Entwässerung. Sie bestehen aus einer Sickerschicht (z. B. aus Geogitter, Wirrgelege, Monofilamentstruktur) und einem auf der Oberseite des Dränkörpers aufgebracht Filtergeotextil. In der Regel wird werkseitig auch auf der Unterseite ein Geotextil als Stütz- und Schutzschicht aufgebracht. Kunststoff-Dränelemente übernehmen im Allgemeinen drei Funktionen eines Oberflächendichtungssystems, wodurch projektbezogene Teilnachweise erforderlich sind:

- Filtern gegenüber Rekultivierungsboden (Nachweis der mechanischen Filterfestigkeit und der hydraulischen Filterwirksamkeit für das obere Filtergeotextil),
- Dränen (Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Sickerschicht) und
- Schützen (Schutzwirksamkeitsnachweis, z. B. für eine Kunststoffdichtungsbahn nach GDA-E 3-9).

Der Verbund der drei Komponenten kann beispielsweise mit vollflächiger thermischer Fixierung, linienförmiger Vernähung, punktförmiger Heißverklebung oder punktförmiger Ultrahochfrequenzverschweißung ausgeführt sein (vgl. [19]). Als geotextile Filterlagen kommen bisher mechanisch und thermisch verfestigte Vliesstoffe zum Einsatz.

Für Kunststoff-Dränelemente im Deponiebau sind gemäß Deponieverordnung DepV[4] Zulassungen durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) erforderlich (vgl. [23]).

2. Zulassungsrichtlinien für Kunststoff-Dränelemente

Die BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist nach der Deponieverordnung (DepV) [4] die Benannte Stelle u. a. für die Zulassung von Geokunststoffen in

Deponiedichtungssystemen. Somit dürfen auf der Grundlage der DepV für derartige Dichtungssysteme nur von der BAM zugelassene Geokunststoffe eingesetzt werden.

Der BAM-Fachbeirat hat die „Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen für Deponieabdichtungen“ [1] und die „Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen“ [2] verabschiedet. Sie sind auf der Internetseite und im Amts- und Mitteilungsblatt der BAM veröffentlicht: www.bam.de/de/service/amtl_mitteilungen/abfallrecht/index.htm

Die Zulassungsrichtlinie für Kunststoff-Dränelemente [2] hat zwei Schwerpunkte: Die Langzeit-Scherfestigkeit und das Langzeit-Wasserleitvermögen. Die Kunststoff-Dränelemente funktionieren jedoch nur, wenn auch der geotextile Filter langfristig wirksam ist. In der Zulassungsrichtlinie für Geotextilien zum Filtern und Trennen [1] sind die relevanten Eigenschaften des Filtergeotextils beschrieben.

3. Standsicherheitsnachweise

Für Standsicherheitsnachweise von Oberflächendichtungen mit Kunststoff-Dränelementen ist das Reibungsverhalten zu den Kontaktflächen (Auflager, z. B. Dichtungselement und überlagernde Schicht, z. B. Rekultivierungsschicht) nach GDA E 3-8 labortechnisch unter Einsatz der projektbezogenen Materialien nachzuweisen. Der Nachweis gegen Gleiten der Oberflächendichtung in Böschungsfallrichtung ist gemäß GDA E 2-7 zu führen. Ergänzend zum Reibungsverhalten in den äußeren Kontaktflächen ist die im Langzeit-Scherversuch nachgewiesene innere Scherfestigkeit des Kunststoff-Dränelementes im Nachweis gegen Gleiten ggf. zu berücksichtigen.

Zum Nachweis der Standsicherheit unter Berücksichtigung von Kettenfahrzeugen zum Einbau der Rekultivierungsschicht im Böschungsbereich ist ein Nachweiskonzept in [22] aufgeführt. Ergänzend können standsicherheitsrelevante Teilnachweise erforderlich werden, die Sonderfälle aus hydraulischen Einflüssen an der Schichtgrenze Kunststoff-Dränelement vs. Rekultivierungsboden berücksichtigen:

- Teilweiser, ggf. auch vollständiger Ausfall der Dränung,
- Aufweichung oder Entfestigung von Erdstoffschichten mit Aufstau über dem Kunststoff-Dränelement oder
- Starkregeneignisse während der Bauphase.

4. Nachweis der Dränleistung der Sickerschicht

Ziel der Bemessung ist der Nachweis, dass das Kunststoff-Dränelement die erforderlichen Abflussleistungen unter Beachtung aller projektbezogenen Randbedingungen über den vorgesehenen Zeitraum (langfristig) mit ausreichender Sicherheit gewährleistet.

Das nach DIN EN ISO 12958 [5] ermittelte Wasserableitvermögen q eines Kunststoff-Dränelementes ist abhängig vom hydraulischen Gradienten -also vom Verhältnis der Druckhöhendifferenz zur Entwässerungslänge- und von der langfristigen Dicke der Sickerschicht unter Auflast aus überlagernden Schichten sowie den Bettungsverhältnissen (weich oder hart gelagert).

Durch Kriechen des Kunststoffes unter Druck- oder Druck-Scherbeanspruchung über die Zeit verringern sich Dicke, damit der Fließquerschnitt und das Wasserableitvermögen des Kunststoff-Dränelementes. Druckkriechen ist maßgebend für Flachbereiche und kombiniertes Druck-Scherkriechen für Böschungen. Diese Dickenänderung unter Druck- und kombinierter Druck-Scherbeanspruchung muss in Kriechversuchen erfasst werden und wird maßgeblich in [2] berücksichtigt. Nur die aus den Kriechversuchen ermittelte langfristige Dicke und das daraus ermittelte Wasserableitvermögen unter Berücksichtigung der Bettung darf als Langzeitwasserableitvermögen für einen hydraulischen Nachweis in die Bemessung einer Deponieoberflächendichtung eingehen [16].

Für den hydraulischen Nachweis ist es daher erforderlich, die in Flachbereichen (Druckspannungen) und Böschungen (Druck- und Scherspannung) aus den überlagernden Schichten zu erwartenden Spannungen in Abhängigkeit vom Gefälle bzw. Neigung zu ermitteln.

Ergänzend sind die Bettungsverhältnisse in Abhängigkeit vom Dichtungsaufbau festzulegen. Rekultivierungsböden stellen eine weiche Bettungsgrenze dar. Bei einer KDB als Dichtungselement wird von einer harten Unterlage ausgegangen, sodass z. B. bei einer Bettung zwischen Rekultivierungsboden und KDB von der Bettungssituation weich/hart auszugehen ist. Wenn für mineralische Dichtungen als Auflager des Kunststoff-Dränelementes von oberflächlichen Aufweichungen ausgegangen werden muss, wird eine Bettungssituation weich/weich empfohlen. Für die praktische Anwendung ist die Bettungssituation hart/hart nach [3] weitgehend ohne Bedeutung.

In den Zulassungen der BAM für Kunststoff-Dränelemente ist das langfristige Langzeit-Wasserableitvermögens q_{LZ} [l/s·m] definiert, bezogen auf

- das hydraulische Gefälle ($i = 0,05$, $i = 0,1$, $i = 0,30$ und $i = 1,0$),
- die Bettung (hart/hart, hart/weich und weich/weich) sowie auf die
- Spannungsverhältnisse für z. B. 1,0 m oder 2,5 m mächtige Rekultivierungsschichten (Druckspannungen $\sigma = 20$ und 50 kPa und kombinierte Druck-Scherspannungen, z. B. $\sigma/\tau = 20/6,7$ kPa und $50/16,7$ kPa).

Zur Ermittlung des Bemessungswertes ist der Materialwiderstandswert q_{LZ} [l/s·m] nach BAM[2] für Funktionsdauern ≥ 100 Jahre mit Teilsicherheitsbeiwerten abzumindern.

Im Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit ist zu zeigen, dass der Bemessungswert des Langzeit-Wasserableitvermögens $q_{LZ,d}$ [l/s·m] größer oder gleich der aus der Dränspende q_s [mm/d] zu erwartenden Eintrittswassermenge q_a [l/s·m²] bezogen auf die Entwässerungslänge L [m] entspricht:

$$q_{LZ,d} \geq q_a \cdot L \cdot S$$

- | | |
|------------|--|
| $q_{LZ,d}$ | Bemessungswert des Langzeit-Wasserableitvermögens [l/s·m], |
| q_a | Eintrittswassermenge [l/s·m ²], |
| L | Entwässerungslänge [m] und |
| S | Sicherheitsfaktor für Unsicherheiten bei der Lastannahme bei den hydraulischen Lastannahmen (Dränspende) sowie bei der Berechnung des maßgeblichen spezifischen Dränabflusses. |

Der hydraulische Nachweis wird durch den Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit für den oberen Filtervliesstoff bei möglichen Feinkornmobilisierungen aus den zum Einsatz vorgesehenen Rekultivierungsböden vervollständigt. Weitere Hinweise sind in der [2], [7] und [9] zu finden.

5. Nachweise der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Filterschicht

5.1 Allgemeines

In der Zulassungsrichtlinie [2] wurde folgende Zulassungsvoraussetzung formuliert:

“Beim Filtergeotextil muss die Masse je Flächeneinheit mindestens 300 g/m², die Dicke mindestens 3 mm, die Stempeldurchdrückkraft mindestens 2,5 kN und der Durchdrückvorschub bei der Stempeldurchdrückkraft mindestens 50 mm betragen. Weiterhin muss die Dicke des Filtergeotextils mindestens der 30fachen charakteristischen Öffnungsweite O_{90} entsprechen.“

Diese Mindestanforderungen werden jedoch von den geotextilen Filtern der derzeit zugelassenen Kunststoff-Dränelemente nicht erfüllt, d. h. mit heutigem Datum existieren keine zugelassenen Kunststoff-Dränelemente, deren Vliesstoffe die Anforderungen der o. g. Zulassungsrichtlinie erfüllen. Die BAM stellt klar, dass dadurch keine Regelungslücke entstanden ist. Die bisher zugelassenen Kunststoff-Dränelemente können unter gewissen Bedingungen bis Ende 2013 verwendet werden.

Bei Kunststoff-Dränelementen, die mit Vliesstoffen ausgestattet sind, die von den eingangs aufgeführten Anforderungen abweichen, wird zukünftig im Zulassungsschein ausdrücklich angegeben, welche Einschränkungen sich dadurch ergeben.

Als Experte zur Formulierung dieser Einschränkungen wurde auf Beschluss des BAM-Fachbeirates der Autor des vorliegenden Beitrages bestellt. Auf diese Weise soll durch eine einheitliche Begutachtung die Eignung der in Kunststoff-Dränelementen verwendeten Vliesstoffe für bestimmte Randbedingungen definiert werden und ihren Einsatz somit ggfs. für diese freigegeben werden.

In den Gutachten[21] wurde u. a. nach den Regeln des DVWK Merkblatts 221 [6] produktabhängig jeweils der Bereich von Böden angegeben, für den aufgrund der Eigenschaften des Filtergeotextils (charakteristische Öffnungsweite und Dicke) eine langfristige ausreichende

- mechanische Filterfestigkeit (ist zu bemessen mit der „feinsten“ Körnungslinie eines Körnungsbandes, d. h. mit dem linken Rand eines Körnungsbandes) und
- hydraulische Filterwirksamkeit (ist zu bemessen mit der „größten“ Körnungslinie eines Körnungsbandes, d. h. mit dem rechten Rand eines Körnungsbandes)

gegeben ist. Der Bereich wird auch im Zulassungsschein beschrieben werden.

Mit Stand 2.12.2011 existieren Filtergutachten [21] zur befristeten Zulassung der Kunststoff-Dränelemente für die folgenden drei Produkte:

- Enkadrain ZB der Colbond GmbH & Co. KG, Obernburg,
- GSE FabriNet ZB-E B200Z der GSE Lining Technology GmbH, Hamburg, und
- Secudrän R201Z WD601Z R201Z der Naue GmbH & Co KG, Espelkamp.

Nachfolgend werden die einzelnen Auswahlkriterien erläutert.

5.2 Auswahlkriterium Masse pro Flächeneinheit

Beim Standard-Filtergeotextil muss die Masse je Flächeneinheit zukünftig mindestens 300 g/m² betragen. In der Zulassungsrichtlinie findet sich der Hinweis, dass die Masse pro Flächeneinheit des Trägergeotextils mindestens 180 g/m² betragen soll. Diese Anforderung ist aus Robustheitsgründen auch auf das Filtergeotextil zu übertragen. Zudem ist eine Robustheitsklassenbemessung nach FGSV [8] für den konkreten Anwendungsfall (mit der größten Körnungslinie) durchzuführen.

Masse pro Flächeneinheit des Filtergeotextils: Mindestens 180 g/m²

GRK-Bemessung und Nachweis nach FGSV [8] objektbezogen

5.3 Auswahlkriterium Dicke

Beim Standard-Filtergeotextil muss die Dicke mindestens 3 mm und mindestens der 30fachen charakteristischen Öffnungsweite O_{90} betragen. Der erstgenannte Wert resultiert auch aus den Robustheitsanforderungen, die mit den hier gestellten Mindestanforderungen zur Masse pro Flächeneinheit und GRK Bemessung berücksichtigt werden. Die Filtrationslänge „30fache charakteristische Öffnungsweite O_{90} “ gilt für Anwendungsfälle, die alle Randbedingungen und Unwägbarkeiten abdecken sollen. Festgelegt wurde für die „Übergangszeit“ eine Mindest-Filtrationslänge von 18, die nicht unterschritten werden darf:

Dicke eines Vliesstoffes ≥ 18 fache charakteristische Öffnungsweite O_{90} .

Festzuhalten ist weiterhin, dass die zugrundeliegende Auflast zur Ermittlung der Dicke nach den Erkenntnissen des Franzius-Instituts stets der Dicke eines Vliesstoffes bei 2 kPa Auflast (und nicht bei 20 kPa) entspricht [17].

5.4 Auswahlkriterium Festigkeit und Dehnung

Beim Standard-Filtergeotextil müssen die Stempeldurchdrückkraft mindestens 2,5 kN und der Durchdrückvorschub bei der Stempeldurchdrückkraft mindestens 50 mm betragen. Diese Anforderungen gelten für Anwendungsfälle, die alle Randbedingungen und Unwägbarkeiten abdecken sollen. In den vorliegenden Gutachten werden definierte Körnungslinien betrachtet und zudem auf die positiven Erfahrungen des bisher eingesetzten Produktes hinsichtlich Festigkeit und Dehnung verwiesen. Obwohl die neuen o. g. Neuregelungen ausdrücklich begrüßt werden, werden die bestehenden Regelungen (auch hinsichtlich Höchstzugkraft und -dehnung), die zur Erteilung der vorhandenen Zulassung geführt haben, hier für die gewählten Körnungslinien als ausreichend angesehen.

5.5 Auswahlkriterium Hydraulische Filterwirksamkeit

Nach den Regeln des DVWK Merkblatts 221 [6] sollte der Bereich von Böden angegeben werden, für den aufgrund der Eigenschaften des Filtergeotextils eine langfristige ausreichende hydraulische Filterwirksamkeit gegeben ist. Gegenüber den im Jahre 1992 zugrundeliegenden Prüfverfahren haben sich heute neuere Prüfverfahren etabliert, sodass zunächst eine Umrechnung zwischen dem „alten“ k_V -Wert der DIN 60500 Teil 4 und dem „neuen“ V_{IH50} - Wert genutzt werden muss:

$$k_V = V_{IH50} * \text{Dicke} / \Delta H.$$

Zur Überprüfung der hydraulischen Filterwirksamkeit wurden Körnungslinien von etlichen konkreten Projekten sowie künstlich zusammengesetzte Körnungslinien betrachtet und mit den Produktkennwerten der drei Filtergeotextilien überprüft. Diese Überprüfung bestätigt die Feststellung, dass die Wasserdurchlässigkeit des Geotextils gegenüber feinen Böden so groß ist, dass sich eine Bemessung in der Regel erübrigt. Am rechten (groben) Rand des Körnungsspektrums wird k_v häufig laut Bemessungsverfahren zu klein. Bei diesen groben Böden hingegen wirkt das Geotextil nicht mehr als Filter, sondern eher als Trennschicht. Bei diesen groben Böden ist eine so hohe Durchlässigkeit in der Bodenschicht gegeben, dass die Durchlässigkeit des Geotextils in den Hintergrund treten kann (vgl. alte Schweizer Norm SN 670 125a).

Festzuhalten ist dabei, dass die Dicke eines Vliesstoffes im eingebauten Zustand in der Praxis nach den Erkenntnissen des Franzius-Instituts stets nicht weiter komprimiert wird als die Dicke, die der Vliesstoff unter 2 kPa Auflast aufweist [17], d. h. für den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert senkrecht zur Geotextilebene k_v wird eine Auflast von 2 kPa (und nicht von 20 kPa) zugrunde gelegt.

Da die Kunststoff-Dränelemente auch zukünftig ohnehin für den konkreten Anwendungsfall filtertechnisch hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit senkrecht zur Filter-Geotextilebene (mit den DVWK-221 Bild 2.3 für Geotextilien mit einer Filtrationslänge von ≥ 18 -vgl. Abschnitt 4.3- als gültig betrachtet) dimensioniert werden müssen, wurde im Rahmen der Gutachten auf eine zusätzliche Auswertung verzichtet. Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Wasserdurchlässigkeit des Geotextils aufgrund der o. g. beschriebenen Phänomene für den linken und rechten Rand der Körnungslinie in der Regel kein Bemessungskriterium darstellt.

5.6 Auswahlkriterium Suffosionssicherheit¹ des abzufilternden Bodens

Insbesondere Böden ohne Plastizität entweder mit stetigem Verlauf der Körnungslinie ($U > 14$) oder mit Ausfallkörnung im Bereich unterhalb 40 % Siebdurchgang können einer Suffosion unterliegen. Kriterien sind z. B. in [13], [15] und [18] zu finden.

Leider war es im Rahmen der Begutachtung nicht gelungen, pauschale Angaben zur Suffosionssicherheit des abzufilternden Bodens im Körnungsbereich C durchzuführen. Da es sich hierbei allerdings nicht um eine Geotextilbemessung, sondern um eine Bodenbemessung handelt, konnte dieser Punkte getrost außer Acht gelassen werden. Die

Suffossionssicherheit des Bodens muss, unabhängig ob ein Kunststoff-Dränelement verwendet wird oder nicht, gewährleistet sein.

Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auf die zukünftige Verankerung eines neuen Bemessungsverfahrens im BAW-Regelwerk zur Prüfung der Suffossionssicherheit, welches die Massenanteile für Korngrößenbeziehungen D vs. $4D$ betrachtet [14].

¹ Schreibweise nach DGEG-Vorstandsbeschluss aus dem Jahr 1991

5.7 Auswahlkriterium Mechanische Filterfestigkeit

Nach den Regeln des DVWK Merkblatts 221 [6] sollte im Rahmen der Begutachtung der Bereich von Böden angegeben werden, für den aufgrund der Eigenschaften des Filtergeotextils eine langfristige ausreichende mechanische Filterfestigkeit (charakteristische Öffnungsweite und Dicke) gegeben ist.

Die Bemessung auf Dicke / Filtrationslänge wurde bereits im o. g. Abschnitt 5.3 erläutert. Bzgl. der Bemessung auf Öffnungsweite wurde zunächst die Literatur geprüft, ob neuere Bemessungen herangezogen werden sollten. Dabei wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

- In der Zeit nach DVWK Merkblatt 221 [6] gab es kaum nennenswerte Fortschritte in der Filterbemessung, zumindest keine umfassenden.
- Die Filterregeln des Straßenbaumerkblattes FGSV [8] sollten nur im Einzelfall herangezogen werden.
- Eine mögliche Ausnahme stellen die Untersuchungen von Lafleur [15] dar. Berechnungen mit seinen Ansätzen und Modifikationen davon [12] sind auf den ersten Blick logisch und nachvollziehbar, allerdings ergaben die Berechnungen auch, dass diese Filterregeln hier und da sehr viel Spielraum erlauben und im Extremfall jedes Geotextil als Filter zulassen.

Basis der Auswertungen sind somit ausschließlich die DVWK-Regeln aus 1992 (vgl. auch [18] und [20]). Es wurden ausschließlich hydrostatische Belastungen angenommen.

Das DVWK Merkblatt 221 [6] definiert:

Körnungsbereich A: $d_{40} \leq 0,06$ mm,

Körnungsbereich B: $d_{15} \geq 0,06$ mm und

Körnungsbereich C: $d_{15} \leq 0,06$ mm und $d_{40} > 0,06$ mm.

Um die produktspezifischen Ergebnisse, die auf einer Vielzahl von Bemessungen mit allen gewählten Körnungslinien basieren, visuell darlegen zu können, wurden strenge Auslegungen zugrunde gelegt. So wurde stets ein Boden mit hoher Einzelkornmobilität angenommen.

Eine langfristige ausreichende Wasserdurchlässigkeit wird gleichzeitig auch den Nachweis der Sicherheit gegen Kolmation beinhalten. Dazu ist die Öffnungsweite des Geotextils $gew O_{90}$ zwischen der unteren Grenze gegen Kolmation ($min O_{90}$) und der oberen Grenze gegen Erosion ($max O_{90}$) so zu wählen, dass sie möglichst nahe an $max O_{90}$, aber keinesfalls unter $0,2 max O_{90}$ liegt [20]. Gewählt wurde somit das Kriterium

$gew O_{90} = 0,2 bis 1,0$ zur O_{90} .

Zur O_{90} wurde stets nach DVWK Merkblatt 221 [6] für alle gewählten Körnungslinien berechnet. Die produktspezifischen Ergebnisse dieser umfangreichen Berechnungen sind in den Gutachten in jeweils 14 Bildern dargestellt. Die nachfolgende Abb. 1 zeigt beispielhaft zwei fiktive zulässige Flächen für Körnungslinien (hier im Körnungsbereich A) so wie es in Gutachten vorkommen könnte.

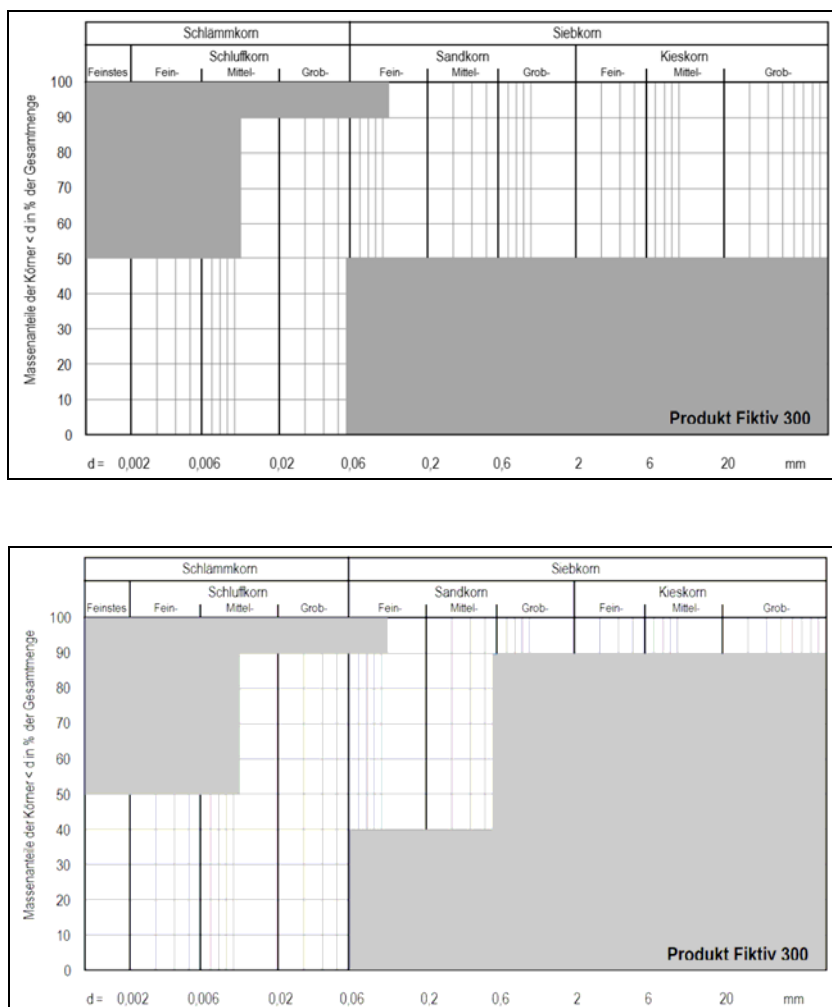


Abb. 1: Zulässige Fläche für Körnungslinien, 2 von insgesamt 14 Bildern, hier fiktives Beispiel in Anlehnung an [21]

Liegt eine vorhandene Körnungslinie eines konkreten Objektes vollständig auf der weißen (zulässigen) Fläche EINES der 14 Bilder, ist das zugrunde liegende Filter-Geotextil für diese Körnungslinie unter Berücksichtigung der im Gutachten beschriebenen Randbedingungen geeignet. Schneidet die vorhandene Körnungslinie auf JEDEM Bild eine grau schraffierte Fläche, so ist das betrachtete Produkt filtertechnisch nicht geeignet.

6. Ausblick

Überarbeitungen (und ggf. auch Angaben zur Gültigkeitsdauer) der Filtergutachten sind auf der Internetseite des Lehrstuhls (derzeit <http://www.auf-iw.uni-rostock.de/arbeitskreise> bzw. mittelfristig unter <http://www.auf-gk.uni-rostock.de/arbeitskreise>) hinterlegt.

7. Literatur

- [1] BAM: Richtlinie für die Zulassung von Geotextilien zum Filtern und Trennen in Deponieoberflächenabdichtungen, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2010
- [2] BAM: Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 2010
- [3] Bräcker, W.: Abfallwirtschaftsfakten 5.2, Dränelemente aus Kunststoff als Entwässerungsschicht in Deponieoberflächenabdichtungen, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Niedersachsen, September 2008
- [4] DepV (2009): Verordnung über die Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009, Bundesgesetzblatt, 2009, Teil I, Nr. 22, S.900-950.
- [5] DIN EN ISO 12958: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Wasserleitvermögens in der Ebene
- [6] DVWK 221: Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Empfehlungen des Arbeitskreises 14 (heute Ak 5.1) „Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau“ der DGGT, DVWK Merkblätter 221, 1992
- [7] EAG-Drän: Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Dränmatten. Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau“ der DGGT, Entwurf 2010, Herausgabe durch DGGT geplant
- [8] FGSV. Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues M Geok E. Eigenverlag der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. Köln., 2005
- [9] GDA Empfehlung E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. Entwurf 2011. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
- [10] GDA Empfehlung E 3-8 Reibungsverhalten von Geokunststoffen. Entwurf 2011. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
- [11] GDA Empfehlung E 3-9 Eignungsprüfungen für Geokunststoffe. Entwurf 2011. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.

- [12] Heibaum, M.; Fourie, A.; Girard, H.; Karunaratne, G.P.; Lafleur, J. & Palmeira, E.M.: Hydraulic applications of geosynthetics. Proceedings of the 8th International Conference on Geosynthetics, Yokohama. Millpress, Rotterdam, 2006
- [13] Indraratna, B.; Nguyen, VT & Rujikiatkamjorn, C. Assessing the potential of internal erosion and suffusion of granular soils. Journal of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering 137, 550 (2011)
- [14] Kayser, J.: Vorlesung „Geotechnik im Verkehrswasserbau“ im Rahmen des Masterstudium Landeskultur und Umweltschutz der Universität Rostock, 13.12.2011
- [15] Lafleur, J.: Selection of geotextiles to filter broadly graded cohesionless soils. Geotextiles and Geomembranes 17, 1999
- [16] Müller, W.: Funktionsdauer von Dränmatten ab Entwässerungselemente in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. 23. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg, 2007
- [17] Saathoff, F.: Examination of Long-Term Filtering Behaviour of Geotextiles. RILEM-Seminar Long-Term Behaviour of Geotextiles, Chapman and Hall, E. & F.N. Spon, The Scientific, Technical and Medical Division of Associated Book Publishers (UK) Ltd., 1987. Deutsche Übersetzung: Untersuchungen zum Langzeit-Filterverhalten von Geotextilien. Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 65, 1987
- [18] Saathoff, F.: Filtern mit Geotextilien. Technische Akademie Esslingen "Geokunststoffe in der Geotechnik", 1995
- [19] Saathoff, F.: Dränsysteme aus Wirrgelege und Vliesstoff. 15. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg, 1999
- [20] Saathoff, F.: Vergleich von geotextilen und mineralischen Filterschichten im Wasserbau. Sonderheft Geotechnik zur 11. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, DGGT, S. 111-123 (13 Seiten), VGE Verlag Essen, ISBN 978-3-940476-21-0, 2009
- [21] Saathoff, F. & Cantré, S.: Filtergutachten zur befristeten Zulassung der Kunststoff-Dränelemente
Enkadrain ZB der Colbond GmbH & Co. KG,
GSE FabriNet ZB-E B200Z der GSE Lining Technology GmbH und
Secudrän R201Z WD601Z R201Z der Naue GmbH & Co KG,
unveröffentlicht, Stand jeweils 2.12.2011
- [22] Saathoff, F. & Werth, K.: Standsicherheitsnachweise für Oberflächendichtungssysteme, Anmerkungen zum Lastfall Einbau geschichteter Systeme mit Geokunststoffen. 21. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg, 2005

- [23] Saathoff, F.; Müller, W. & Witt, K.J.: Neue Regelungen im Deponiebau. Sonderheft Geotechnik zur 12. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, DGGT, S. 53-57 (5 Seiten), VGE Verlag Essen, ISBN 978-3-940476-26-5, 2011