

E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen

April 2011

1 Allgemeines

Das Oberflächenentwässerungssystem ist Bestandteil des in E 2-4 beschriebenen Oberflächenabdichtungssystems. Zum Oberflächenentwässerungssystem, das oberhalb der Abdichtungskomponenten angeordnet ist, gehören:

- Filterschicht (falls erforderlich)
- Entwässerungsschicht
- Sickerrohre und Entwässerungsrinnen
- Schutzschicht (falls erforderlich).

Die Entwässerungsschicht kann aus einer mineralischen Entwässerungsschicht oder einem flächigen Kunststoff-Dränelement (Dränmatte) bestehen.

Auf der Abdichtungskomponente kann eine Schutzschicht erforderlich werden, insbesondere, um Beschädigungen, beispielsweise durch grobkörniges Dränmaterial, zu vermeiden oder um die Austrocknungsgefahr der Abdichtungskomponente zu verringern.

Für die Planung von Oberflächenentwässerungssystemen sind auch Angaben in den folgenden Regelwerken zu beachten:

- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009
- DIN 19 667: Dränung von Deponien

Ferner sind die folgenden spezifischen GDA-Empfehlungen zu berücksichtigen:

- E 2-30: Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächendichtungssysteme von Deponien
- E 2-31: Rekultivierungsschichten
- E 3-12: Eignungsprüfungen für mineralische Entwässerungsschichten
- E 4-2: Herstellung von mineralischen Entwässerungsschichten
- E 5-6: Qualitätssicherung für mineralische Entwässerungsschichten

Die GDA-Empfehlungen zu Grundsätzen des Entwurfs, der Eignungsprüfung und des Qualitätsmanagements sind generell einzubeziehen.

2 Anforderungen

In der DEPv sind die Anforderungen an mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen für Deponien der Klassen I, II und III wie folgt festgelegt:

- Schichtdicke: $d \geq 30 \text{ cm}$
- Durchlässigkeitsbeiwert: $k \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- Gefälle $i \geq 0,05 \text{ (5 \%)}$

Die zuständige Behörde kann auf Antrag des Deponiebetreibers Abweichungen von Schichtdicke, Durchlässigkeitsbeiwert und Gefälle der Entwässerungsschicht zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht dauerhaft gewährleistet sind. Damit wird auch die Möglichkeit eröffnet, anstelle einer mineralischen Entwässerungsschicht ein flächiges Kunststoff-Dränelement (Dränmatte) einzusetzen.

Für eine Deponie der Deponieklasse 0 wird wegen der fehlenden Abdichtungskomponenten keine Entwässerungsschicht unterhalb der Oberflächenabdeckung gefordert. Aus geotechnischen Gründen kann eine Entwässerung jedoch notwendig werden, wenn mit wasserstauenden Schichten in der Oberflächenabdeckung zu rechnen ist. Auch wenn der Abfallkörper eine geringere Wasserdurchlässigkeit aufweisen kann als die Oberflächenabdeckung, ist eine Entwässerungsschicht vorzusehen.

Für die Entwässerung des Oberflächenabdichtungssystems gelten im Sinne von E 2-4 ferner die folgenden Anforderungen:

- Ausschluss von Druckwasserbeanspruchungen, sofern damit eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems verbunden ist
- Filterstabilität der Entwässerungsschicht
- ausreichende Standsicherheit in der Entwässerungsschicht selbst und in den Kontaktflächen

Das Entwässerungssystem muss so ausgebildet sein, dass es die Dränfunktion langfristig erfüllt. Bei der Festlegung von Neigung und Gefälle der Systeme ist zu berücksichtigen, dass an der Deponieoberfläche, insbesondere bei Siedlungsabfalldeponien alten Standards, große und unterschiedliche vertikale sowie auch horizontale Verformungen auftreten können. Sie sind nach E 2-6 und E 2-16 anhand von Verformungsbeobachtungen zu prognostizieren.

Deponieoberflächen sind so auszubilden, dass auch bei sehr großen Deponien keine abflusslosen Zonen entstehen, wobei nach Abklingen der Verformungen/Setzungen ein Mindestgefälle der Entwässerungsschicht von 5 % gewährleistet sein muss.

3 Hydraulische Beanspruchungen

Die hydraulischen Beanspruchungen des Oberflächenentwässerungssystems sind standortabhängig. Sie sind nach den Verfahren der Wasserwirtschaft zu ermitteln. Die Elemente des Entwässerungssystems sind für die maßgebliche hydraulische Beanspruchung zu bemessen.

Die hydraulische Beanspruchung des Entwässerungssystems unterhalb der Rekultivierungsschicht durch versickertes Niederschlagswasser (im folgenden Dränspende genannt) hängt neben den Witterungseinflüssen und der Böschungsgeometrie von den folgenden Faktoren ab:

- Wasserspeichungsvermögen und -durchlässigkeit der Rekultivierungsschicht in Abhängigkeit von Bodenart, Lagerungsdichte und Schichtdicke
- Wasserverbrauch in Abhängigkeit von Art und Durchwurzelungstiefe des Bewuchses
- Oberflächenabfluss

Der maßgebliche spezifische Dränabfluss q_a einer Entwässerungsschicht ergibt sich aus der Dränspende q_s und der Zulaufstrecke l_s (Böschungslänge oder Länge zwischen zwei Sammlern) der zu entwässernden Fläche. Die Dränspende wird fallweise auch als Sickerwasserspende bezeichnet.

$$q_a = q_s \cdot l_s \quad (1)$$

mit

q_a	= spezifischer Dränabfluss	[L/(m·s)]
q_s	= Dränspende	[L/(m ² ·s)]
l_s	= Entwässerungslänge	[m]

Allgemein lassen Rekultivierungsschichten mit einem hohen pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrat – z.B. schwach bindige Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität ausreichender Mächtigkeit – einen relativ hohen Wasserverbrauch des Bewuchses und eine starke Dämpfung von Abflussreaktionen auf Niederschlagsereignisse erwarten, so dass sich sowohl für die Jahressumme als auch bei den Tagesspitzenwerten relativ niedrige Dränspenden ergeben.

Demgegenüber ist bei nichtbindigen, geringmächtigen Rekultivierungsschichten sowohl in der Jahressumme als auch für die Tagesspitzenwerte eine deutlich höhere Dränspende zu erwarten. Hohe Dränspenden treten in der Regel am Ende des Winterhalbjahrs bei hoher Bodenfeuchte in der Rekultivierungsschicht auf.

Berechnungen und Messungen haben gezeigt, dass hohe Dränspenden, die mindestens an 99 % aller Tage unterschritten werden, in einer Größenordnung von 10 mm/d liegen, Tagesspitzenwerte erreichen Werte bis zu 25 mm/d.

Für Vorbemessungen von Entwässerungsschichten sollte grundsätzlich von einer maßgeblichen Dränspende von $q_s = 25 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) = 25 \text{ mm}/\text{d}$ (Tagesspitzenwert) ausgegangen werden. Bei einer stationären Bemessung mit diesem Wert erübrigt sich in der Regel ein projektspezifischer Nachweis.

Für eine projektspezifische Abschätzung der Dränspende q_s sind hydrologische Untersuchungen durchzuführen. Unter Berücksichtigung der Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems und der potenziellen Versagensfolgen ist aus der Verbindung von Dränspenden und Unterschreitungshäufigkeit ein Bemessungswert festzulegen, der als Dränspende in die hydraulischen Nachweise der Entwässerungsschichten übertragen wird.

Unter Berücksichtigung der E 2-30 können mit validierten Wasserhaushaltsmodellen maßgebliche Dränspenden für definierte Standortbedingungen näherungsweise abgeleitet werden (siehe RAMKE 2002). Die Wahrscheinlichkeiten ihres Auftretens sind im Sinne der vorstehend genannten Risikobetrachtung aus der Dränspendendauerlinie zu ermitteln.

Im Bauzustand können besondere Beanspruchungen der offen liegenden Entwässerungsschicht durch Starkregenereignisse auftreten. Für diesen Fall wird empfohlen, die für den Standsicherheitsnachweis maßgebliche hydraulische Beanspruchung unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Versagensfolgen festzulegen und eine instationäre Berechnung durchzuführen (siehe RAMKE 2002).

4 Mineralische Entwässerungsschichten

4.1 Konstruktive Gestaltung

Gemäß Anhang 1 der DEPv soll die Mindestdicke der mineralischen Entwässerungsschichten 30 cm betragen, und der Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}/\text{s}$ sein. Unterschreitungen dieser Anforderungen sind möglich, wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht langfristig gewährleistet sind.

Wegen der notwendigen langfristigen Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems wird von einer wesentlichen Verringerung der Schichtdicke der mineralischen Entwässerungsschichten abgeraten, da auch nur schwer kalkulierbare Alterungsprozesse (Ausfällungen, Durchwurzelung) konstruktiv berücksichtigt werden müssen. Die hydraulisch in der Regel nicht erforderliche Schichtdicke von 30 cm enthält implizit Sicherheitszuschläge.

Mineralische Baustoffe müssen gegenüber den Milieubedingungen an der Deponieoberfläche chemisch und biologisch resistent sein und ausreichende Festigkeit besitzen. Sie dürfen keine leicht wasserlöslichen Bestandteile enthalten. Die Gehalte an organischer Substanz und die Schadstoffgehalte im Feststoff und im Eluat sind entsprechend Anhang 3 der DEPv zu begrenzen. Die Grenzwerte für den Carbonat-

gehalt der Materialien für die Basisabdichtung nach DIN 19667 gelten hier jedoch nicht. Die Verwendung von Dränkies der Körnung 16/32 ist nicht erforderlich und bei mineralischen Abdichtungen wegen der dadurch u.U. geförderten Austrocknungsprozesse sogar schädlich. Ein Feinkornanteil (< 0,06 mm) von 1 % darf nicht überschritten werden.

Die Eignung des Materials für die Entwässerungsschicht ist nach E 3-12 nachzuweisen und nach E 5-6 im Rahmen der Qualitätssicherung zu überprüfen.

Die Entwässerungsschichten müssen gegenüber angrenzenden Bodenschichten filterstabil sein. Bei der Verwendung grobkörniger Materialien sind in der Regel mineralische oder geotextile Filter erforderlich, die nach den bekannten Filterregeln zu dimensionieren sind.

Im Fußbereich langer Böschungen empfiehlt sich die Verwendung besonders grobkörniger, gebrochener Dränmaterialien, die unmittelbar an die Längsentwässerung angebunden werden. Um die hydraulische Leistungsfähigkeit von flächigen Entwässerungsschichten zu verbessern, sind ggf. Sickerrohre (Minstdurchmesser DN 200) einzubauen.

Weitere planerische und konstruktive Hinweise, insbesondere zur Integration der Entwässerungsschicht in das Gesamtsystem der Oberflächenabdichtung und -entwässerung, gibt RAMKE, 2002.

4.2 Hydraulische Nachweise

Der Dränabfluss in der Entwässerungsschicht kann als eindimensionale Filterströmung auf geneigter Sohle beschrieben werden. Bild 2-20.1 zeigt den häufigsten Fall der Randbedingungen für den Abfluss in der Entwässerungsschicht einer Oberflächenabdichtung. Hierfür gilt auf der Basis der 2. Näherungslösung nach Boussinesq nach einmaliger Integration für stationäre Verhältnisse:

$$\frac{\delta h}{\delta x} = \frac{q_s}{k_x} \cdot \left(\frac{l_s - x}{h - x \cdot \tan \alpha} \right) \quad (2)$$

mit

h	=	hydraulisches Potenzial	[m]
x	=	horizontale Koordinate	[m]
l _s	=	Zulaufstrecke zum Drän	[m]
k _x	=	Durchlässigkeitsbeiwert in x-Richtung	[m/s]
q _s	=	Dränspende	[m/s]

Diese Gleichung für das hydraulische Potenzial kann nicht explizit gelöst werden. Es wird die numerische Berechnung als Anfangswertproblem bei Vorgabe der Randbedingung am unteren Drän empfohlen (RAMKE 1991 und 2002).

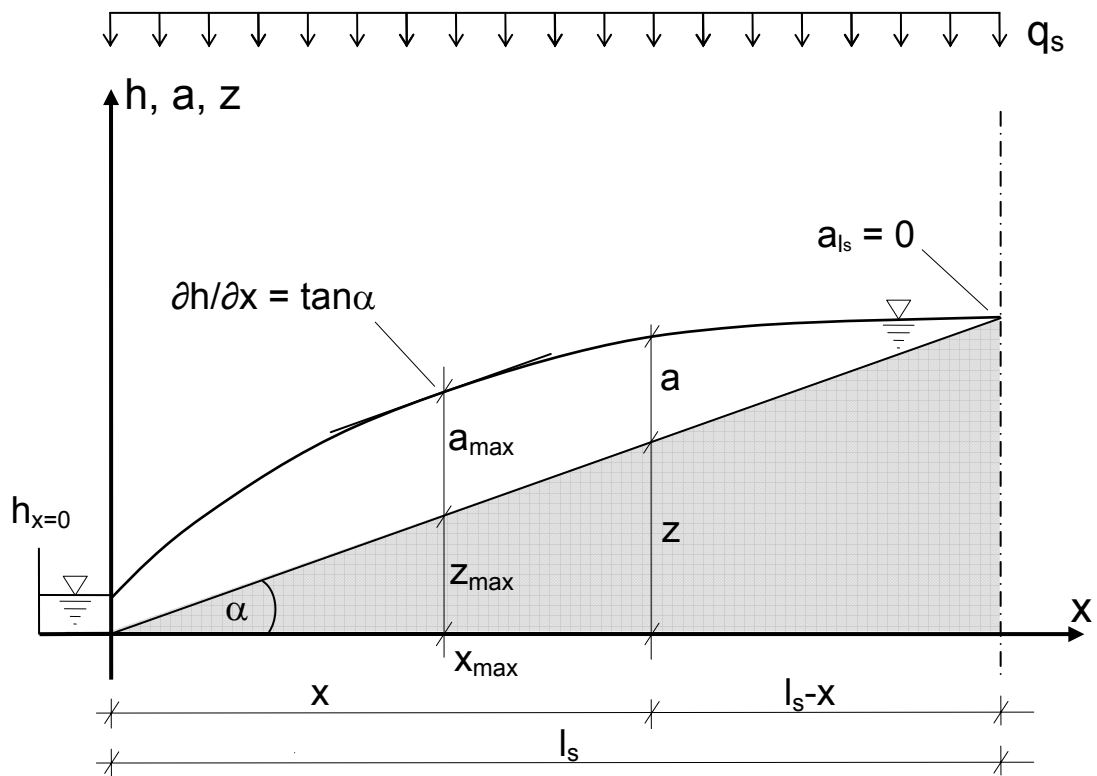


Bild 2-20.1 Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle; rechte Randbedingung: kein Aufstau am Ende des Einzugsbereichs

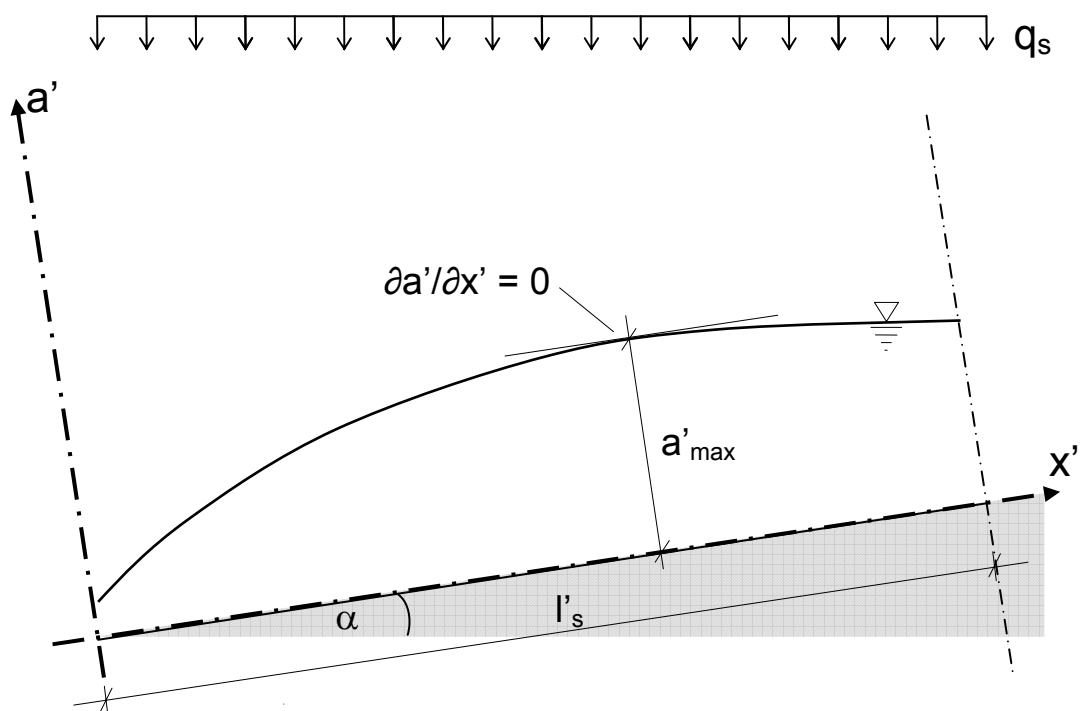


Bild 2-20.2: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle – Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach SCHMID

Auf der Basis der 1. Näherungslösung von Boussinesq (hangparallele Strömung) wurde von SCHMID, 1993 eine explizite Lösung für die Bestimmung des maximalen Aufstaus bei der Ableitung der Dränspende in einen talseitigen Drän, z.B. ein Sickerrohr oder ein Entwässerungsgraben, analog Bild 2-20.1 aufgestellt. Bei der Lösung sind 3 Fälle von Parameterkonstellationen zu unterscheiden.

Mit den Definitionen nach Bild 2-20.2 gilt für den maximalen Aufstau bei stationären Verhältnissen:

Fall A : $\Delta = 4 \cdot (q_s / k_x) - \tan^2 \alpha > 0$:

$$a'_{\max} = \sqrt{\frac{q_s}{k_x}} \cdot l'_s \cdot \exp \left[\frac{\tan \alpha}{\sqrt{\Delta}} \cdot \left(\arctan \frac{k_x \cdot \tan^2 \alpha - 2 \cdot q_s}{k_x \cdot \tan \alpha \cdot \sqrt{\Delta}} - \arctan \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\Delta}} \right) \right] \quad (3.1)$$

Fall B : $\Delta = 4 \cdot (q_s / k_x) - \tan^2 \alpha = 0$:

$$a'_{\max} = \sqrt{\frac{q_s}{k_x}} \cdot l'_s \cdot \frac{1}{e} \quad (e = \text{Euler'sche Zahl}) \quad (3.2)$$

Fall C : $\Delta = 4 \cdot (q_s / k_x) - \tan^2 \alpha < 0$:

$$a'_{\max} = \sqrt{\frac{q_s}{k_x}} \cdot l'_s \cdot \left| \frac{-2 \cdot q_s + k_x \cdot \tan \alpha \cdot (\tan \alpha - \sqrt{-\Delta})}{-2 \cdot q_s + k_x \cdot \tan \alpha \cdot (\tan \alpha + \sqrt{-\Delta})} \cdot \frac{\tan \alpha + \sqrt{-\Delta}}{\tan \alpha - \sqrt{-\Delta}} \right|^{2 \cdot \frac{\tan \alpha}{\sqrt{-\Delta}}} \quad (3.3)$$

mit

$$\begin{aligned} a'_{\max} &= \text{maximaler Aufstau über der Sohle (normal zur Sohle)} & [\text{m}] \\ x' &= \text{Koordinate, hangparallel} & [\text{m}] \\ l'_s &= \text{(maximale) Zulaufstrecke zum Drän (hangparallel)} & [\text{m}] \end{aligned}$$

Zur Berechnung des maximalen Wasseraufstaus über der Sohle bei einem talseitigen und einem hangseitigen Drän und stationären Zuständen kann für das hangparallele Koordinatensystem eine Näherungslösung nach LESAFFRE, 1987 angewendet werden (Definitionsskizze siehe Bild 2-20.3).

Für den Fall der Lagerung des Dräns bzw. Abflussgrabens unmittelbar auf der undurchlässigen Sohle (Kunststoffdichtungsbahn unter der Dränschicht) gilt die folgende modifizierte Gleichung:

$$\frac{l'_a}{a'_{\max}} = \left(\frac{4 \cdot k_x}{q_s} + \left(\frac{k_x}{q_s} - 1 \right)^2 \cdot (\tan \alpha)^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

mit

$$\begin{aligned} a'_{\max} &= \text{maximaler Aufstau über der Sohle (normal zur Sohle)} & [\text{m}] \\ l'_a &= \text{Dränabstand (hangparallel)} & [\text{m}] \end{aligned}$$

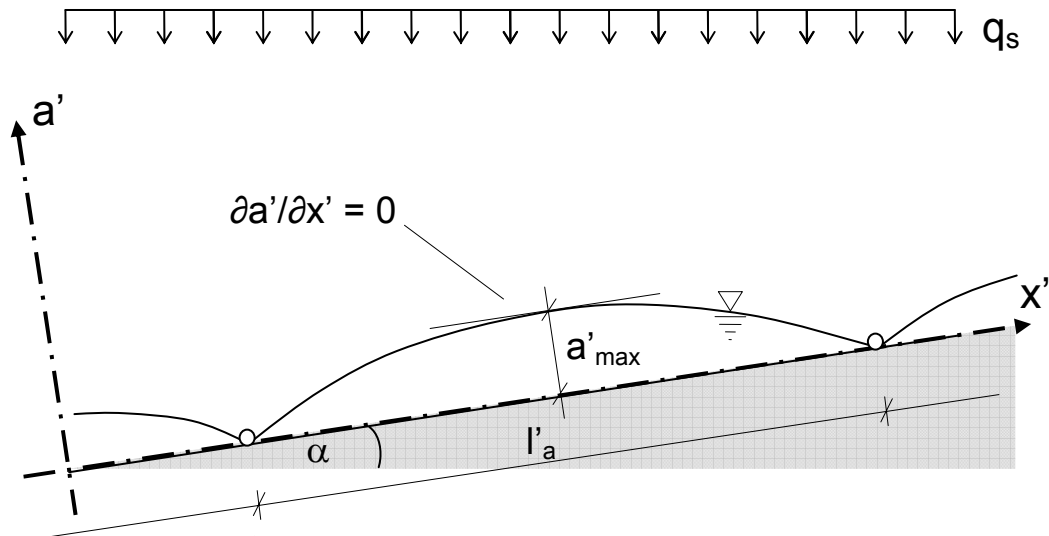


Bild 2-20.3: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle -
Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE

Bei der Anwendung dieser Gleichung ist zu berücksichtigen, dass rechnerisch nicht nur ein talseitiger, sondern auch ein hangseitiger Drän (Sickerrohr) angesetzt wird.

Die maßgebliche Dränspende sollte auf Tagesbasis ermittelt werden, da die Berechnung für den stationären Zustand erfolgt und kürzere - stationär angenommene - Ereignisse zu einer übergroßen Sicherheit führen würden.

Zusätzlich zur Bestimmung des maximalen Aufstaus kann die Berechnung der Spiegellinie bzw. des Aufstauverlaufs in der Entwässerungsschicht für eine Reihe von Anwendungszwecken interessant bzw. notwendig sein:

- zur Ermittlung des Aufstaus, wenn eingestaute Rohre berücksichtigt werden müssen (geänderte Randbedingungen am Drän)
- um zu prüfen, ob zusätzlich zu einem talseitigen Drän (bzw. Graben) ein hangseitiger Drän erforderlich ist (bei einem weitgehenden Einstau über die ganze Zulaufstrecke)
- zur Berechnung der Durchsickerung einer mineralischen Abdichtung, wenn der vertikale hydraulische Gradient stark ortsabhängig ist (z.B. bei einer Bentonitmatte)
- zur Berechnung der Strömungskraft im Rahmen eines detaillierten Standsicherheitsnachweises (gemäß Abschnitt 4.3)
- für die Durchführung von instationären Berechnungen

Von RAMKE, 1991 und 2002 werden Hinweise für die Durchführung der stationären und instationären hydraulischen Berechnungen unter Berücksichtigung der obigen Regel- und Sonderfälle gegeben. Die Berechnungshinweise des BAYERISCHEN LANDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 2000 beschreiben eine Näherungslösung, die nur unter bestimmten Bedingungen (insbesondere bei einem hohen Durchlässigkeitsbeiwert) angewendet werden kann.

Zur Veranschaulichung der Zusammenhänge sind auf den Bildern 2-20.4 und 2-20.5 Ergebnisse eines Berechnungsbeispiels für mineralische Entwässerungsschichten mit Durchlässigkeitsbeiwerten von $k_x = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s und $k_x = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s dargestellt. Sie zeigen den maximalen Wasseraufstau in der Entwässerungsschicht ermittelt mit den Ansätzen von SCHMID, 1993, Gl. (3) und LESAFFRE, 1987, Gl. (4) für Dränspenden q_s von 10 und 25 mm/d bei stationären Verhältnissen. Damit ist der Bereich der hohen Dränspenden und der Tagesspitzenwerte abgedeckt. Die Angaben gelten für das hangparallele Koordinatensystem.

In Bild 2-20.4 ist der Einfluss der Böschungsneigung auf den Wasseraufstau bei einer einheitlichen Böschungslänge von 50 m für die unterschiedlichen Dränspenden und Durchlässigkeitsbeiwerte dargestellt. Man erkennt, dass bei einer Dränspende 25 mm/d, einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-3}$ m/s und einer Böschungsneigung von 5 % (Mindestgefälle der rekultivierten Deponieoberfläche) der maximale Wasseraufstau auch bei stationärem Ansatz des Tagesspitzenwertes nur ca. 25 cm beträgt und damit noch unterhalb der Regelschichtdicke der Entwässerungsschicht von 30 cm liegt. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-4}$ m/s bedarf es bei einer Dränspende von $q_s = 10$ mm/d und einer Böschungslänge von $l'_s = 50$ m einer Böschungsneigung von mindestens 18 %, wenn der Aufstau in der Entwässerungsschicht die Schichtdicke von 30 cm nicht übersteigen soll. Der Tagesspitzenwert von $q_s = 25$ mm/d kann auch bei einer Böschungsneigung von 33 % unter diesen Bedingungen mit einer Schichtdicke von 30 cm nicht ohne Aufstau bis in die Rekultivierungsschicht hinein abgeführt werden, wenn die Dränspende als stationär angenommen wird.

Gleichzeitig verdeutlicht Bild 2-20.4 den Einfluss des hangseitigen Dräns auf den maximalen Aufstau. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-3}$ m/s fließt auch bei einer Böschungsneigung von 2 % der Dränabfluss ausschließlich in den talseitigen Drän. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-4}$ m/s kommt es unter den angesetzten Randbedingungen bei einer Böschungsneigung von unter 12 % (bei $q_s = 25$ mm/d) bzw. 6 % (bei $q_s = 10$ mm/d) auch zu einer Entwässerung über den hangseitigen Drän, wie sich aus den Unterschieden im maximalen Aufstau bei der Berechnung nach SCHMID, 1993 (nur talseitiger Drän) und LESAFFRE, 1987 (tal- und hangseitiger Drän) ergibt.

Bild 2-20.5 zeigt den Einfluss der Böschungslänge (Zulaufstrecke bzw. Dränabstand) auf den maximalen Aufstau bei einer Mindestböschungsneigung von 5 %. Es wird deutlich, dass der Wasseraufstau bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-3}$ m/s auch für die Dränspende von 10 mm/d und einer Einzugslänge von 50 m nur knapp über 10 cm liegt, während bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-4}$ m/s bei dieser Dränspende die Böschungslänge maximal 20 m betragen darf, wenn der maximale Aufstau auf 30 cm beschränkt wird. Eine Dränspende von 25 mm/d kann auch bei einer Böschungslänge von 50 m noch problemlos abgeführt werden, wenn der Durchlässigkeitsbeiwert $k = 10^{-3}$ m/s beträgt, bei einem Durchlässigkeitsbeiwert $k = 10^{-4}$ m/s dürfte die Böschungslänge aber nur ca. 12,50 m betragen, wenn der Aufstau maximal 30 cm hoch sein darf (Ansatz nach LESAFFRE, 1987).

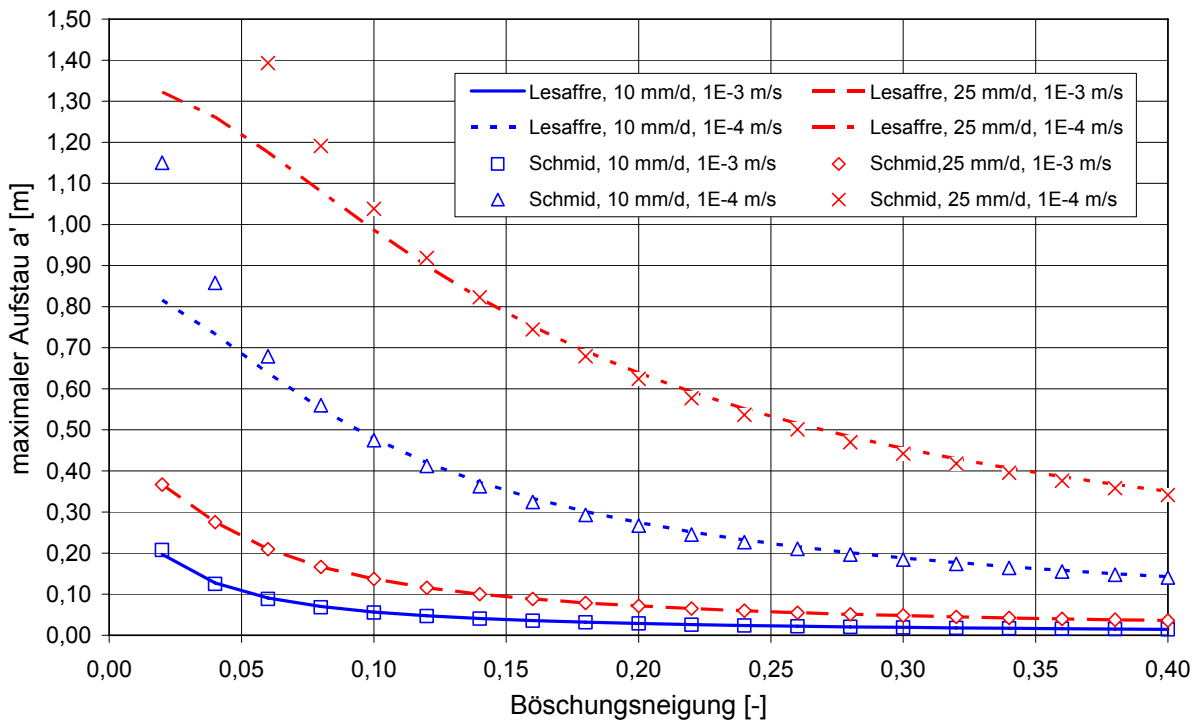


Bild 2-20.4: Berechnungsbeispiel für mineralische Entwässerungsschichten – Einfluss der Böschungsneigung auf den maximalen Wasseraufstau ($k_x = 1 \cdot 10^{-3}$ bzw. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, Böschungslänge 50 m)

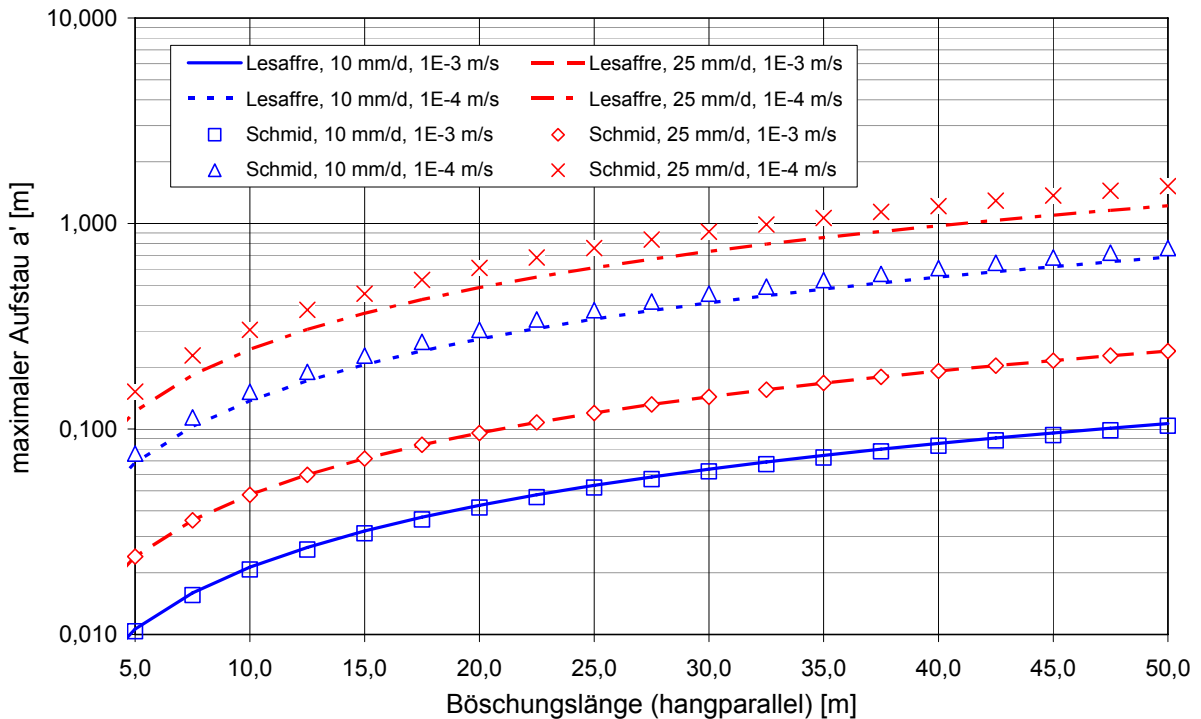


Bild 2-20.5: Berechnungsbeispiel für mineralische Entwässerungsschichten - Einfluss der Böschungslänge auf den maximalen Wasseraufstau ($k_x = 1 \cdot 10^{-3}$ bzw. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, Böschungsneigung 5 %)

4.3 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise für die Entwässerungssysteme als Bestandteil des Oberflächenabdichtungssystems sind nach E 2-7 zu erbringen. Außer dem Nachweis für den Endzustand der Deponie ist der Standsicherheitsnachweis für kritische Bauzustände zu führen.

Ein Überstau der Entwässerungsschicht infolge Überschreitung der Dränkapazität ist bei dem Standsicherheitsnachweis des Abdichtungssystems als temporäre Bemessungssituation (BS-T) zu berücksichtigen.

Je nach maßgeblichem Strömungszustand ist der durchströmte Bereich als Rechteck oder als Dreieck anzusetzen. Für die Strömungskraft gilt bei näherungsweise Ersatz des parabelförmigen, gesättigten Strömungsbereiches durch ein Dreieck (vereinfachter Nachweis):

$$S = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot i \cdot a'_{\max} \cdot l'_g \quad (5)$$

mit

S	= Strömungskraft	[kN/m]
γ_w	= Wichte des Wassers	[kN/m ³]
i	= hydraulisches Gefälle	[-]
l'_g	= Länge des gesättigten Bereiches	[m]

Der maximale Aufstau a'_{\max} ist für den Endzustand unter stationären Bedingungen nach den Gleichungen (3) oder (4) zu bestimmen. Für den Bauzustand ist der maximale Aufstau in der Entwässerungsschicht infolge von Starkregenereignissen zu ermitteln und kann ggf. instationär berechnet werden.

Zur Erhöhung der Gleitsicherheit können Bewehrungsgitter aus Kunststoff angeordnet werden. Sie müssen über eine Zulassung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) verfügen und sind entsprechend den Vorgaben der Zulassung zu dimensionieren.

5 Kunststoff-Dränelemente

5.1 Allgemeines

Für Kunststoff-Dränelemente (in EAG-DRÄN, 2010 geosynthetische Dränmatten genannt) sind gemäß DEPv Zulassungen durch die BAM erforderlich. Grundlage bildet die Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen (BAM 2010).

5.2 Materialbeschreibung

Kunststoff-Dränelemente 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. Weitere Hinweise sind in EAG-DRÄN, 2010 enthalten.

Kunststoff-Dränlemente übernehmen im Allgemeinen drei Funktionen in einem Oberflächenabdichtungssystem, wodurch projektbezogene Teilnachweise erforderlich sind:

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

Als Rohstoffe für Formmassen und Fasern der Komponenten Sickerkörper und Geotextilen werden überwiegend Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) und Polypropylen (PP) eingesetzt.

Der Verbund der drei Komponenten Filterlage, Dränkern und Trägergeotextil kann beispielsweise mit vollflächiger thermischer Fixierung, linienförmiger Vernähung, punktförmiger Heißverklebung oder punktförmiger Ultrahochfrequenzverschweißung ausgeführt sein.

Als geotextile Filterlagen kommen mechanisch und thermisch verfestigte Vliesstoffe zum Einsatz. Die Filterlage muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Masse pro Flächeneinheit $\geq 300 \text{ g/m}^2$,
- Stempeldurchdrückkraft $\geq 2,5 \text{ kN}$
- Verformungsweg von $\geq 50 \text{ mm}$
- Schichtdicke $\geq 3 \text{ mm}$
- Schichtdicke mindestens 30-facher Wert der charakteristischen Öffnungsweite O_{90}

Unter bestimmten Randbedingungen kann von den o.g. Anforderungen abgewichen werden (BAM 2010).

Weiterhin muss grundsätzlich bei jedem Bauvorhaben eine Bemessung nach den Filterregeln des DVWK-Merkblatts 221, 1992 für das Filtergeotextil durchgeführt werden.

Das Trägergeotextil muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Masse pro Flächeneinheit von $\geq 180 \text{ g/m}^2$
- Stempeldurchdruckkraft von $\geq 1,5 \text{ kN}$

5.3 Hydraulischer Nachweis (Dränleistung)

Es ist nachzuweisen, dass das Kunststoff-Dränelement die maßgebliche Dränspende unter Beachtung aller projektbezogenen Randbedingungen mit ausreichender Sicherheit ableitet. Die maßgebliche Dränspende ist nach Abschnitt 3 zu ermitteln.

Das nach DIN EN ISO 12958 ermittelte Wasserableitvermögen q [$\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$] eines Kunststoff-Dränelementes ist abhängig vom hydraulischen Gradienten – also vom Verhältnis der Potentialhöhendifferenz 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 maßgeblich für Flachbereiche und kombiniertes Druck-Scherkriechen für Böschungen. Diese Dickenänderung unter Druck- und kombinierter Druck-Scherbeanspruchung muss in Kriechversuchen erfasst werden (MÜLLER-ROCHOLZ ET AL. 2009) und wird maßgeblich in BAM, 2010 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 Deponieoberflächenabdichtung eingehen (MÜLLER 2007).

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 Abdichtungselement 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 Abdichtungen 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 BRÄCKER, 2008 weitgehend ohne Bedeutung.

In den Zulassungen der BAM für Kunststoff-Dränelemente ist das Langzeit-Wasserableitvermögens q_{LZ} [L/(s·m)], 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)
- die Spannungsverhältnisse für z.B. 1,0 m oder 2,5 m mächtige Rekultivierungsschichten (Druckspannungen = 20 und 50 kPa und kombinierte Druck-Scherspannungen, z.B. $\sigma/\tau = 20/6,7$ kPa und $50/16,7$ kPa),

definiert.

Zur Ermittlung des Bemessungswertes ist das Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} [L/(s·m)] nach BAM, 2010 für Funktionsdauern ≥ 100 Jahre mit Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 2-20.1 abzumindern (siehe Gleichung (6)):

$$q_{LZ,d} \geq \frac{q_{LZ}}{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4} \quad (6)$$

Die Abminderungsfaktoren D_1 und D_3 sind Materialwiderstandsbeiwerte und in BAM, 2010 geregelt. Der Abminderungsfaktor D_2 ist bei üblichen Baustellenrandbedingungen sowie Qualitätssicherungs- und Fremdüberwachungsmaßnahmen ausreichend. Der Abminderungsfaktor D_4 sollte in Abhängigkeit von Mächtigkeit und Gestaltung des Bewuchses der Rekultivierungsschicht festgelegt werden. Empfohlen wird eine Staffelung mit $D_4 = 2,0$ für 1,0 m mächtige Rekultivierungsschichten und $D_4 = 1,1$ bei 2,50 m mächtigen Rekultivierungsschichten in Anlehnung an LANUV, 2010. Aufgrund besonderer Erfahrungen und/oder produktspezifischer Nachweise können abweichende Abminderungsfaktoren angesetzt werden.

Tabelle 2-20.1: Abminderungsfaktoren für die hydraulische Bemessung von Kunststoff-Dränelementen

Faktor	Definition	Wert
D_1	Abminderungsfaktor für in der Abschätzung des Langzeit-Wasserableitvermögens nicht berücksichtigte Streuung der Messdaten	1,3
D_2	Abminderungsfaktor für Beeinträchtigung des Wasserableitvermögens durch unvermeidliche geringfügige Einbaubeanspruchungen	1,2
D_3	Abminderungsfaktor für Beeinträchtigung des Wasserableitvermögens durch lokale Querschnittsveränderungen (Überlappungen, Stöße, Bauteilanschlüsse)	1,2
D_4	Abminderungsfaktor für Beeinträchtigung des Wasserableitvermögens durch langwierige Einwirkungen im eingebauten Zustand (Ausfällungen, Bodeneintrag, Wurzeln)	1,1 bis 2,0

Im Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit ist zu zeigen, dass der Bemessungswert des Langzeit-Wasserableitvermögens $q_{LZ,d}$ [L/(s·m)] größer oder gleich dem spezifischen Dränabfluss q_a [L/(s·m)] ist, der sich aus der Dränspende q_s [L/(m²·s)] und der Entwässerungslänge l_s [m] ergibt (siehe auch Gleichung (1)):

$$q_{LZ,d} \geq q_a \cdot S \geq q_s \cdot l_s \cdot S \quad (7)$$

mit

$q_{LZ,d}$	= Bemessungswert des Langzeit-Wasserableitvermögens	[L/(ms)]
q_a	= spezifischer Dränabfluss	[L/(m·s)]
q_s	= Dränspende	[L/(m ² ·s)]
l_s	= Entwässerungslänge	[m]
S	= Sicherheitsfaktor Lastannahme (für Unsicherheiten bei den hydraulischen Lastannahmen (Dränspende) sowie bei der Berechnung des maßgeblichen spezifischen Dränabflusses)	[-]

Bei Ansatz einer hohen Dränspende $q_s = 10$ mm/d ($1,16 \cdot 10^{-4}$ L/(m²·s)) und Rekultivierungsschichtmächtigkeiten mit $d = 1,0$ m wird ein Sicherheitsfaktor $S \geq 1,1$ empfohlen. Bei Ansatz einer maximalen Dränspende $q_s = 25$ mm/d ($2,89 \cdot 10^{-4}$ L/(m²·s)) ist $S = 1,0$ ausreichend.

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 nach DVWK, 1992 vervollständigt.

5.4 Standsicherheitsnachweise

Für Standsicherheitsnachweise von Oberflächenabdichtungen mit Kunststoff-Dränelementen ist das Reibungsverhalten zu den Kontaktflächen (Auflager, z.B. Abdichtungselement und überlagernde Schicht, z.B. Rekultivierungsschicht) nach E 3-8 labortechnisch unter Einsatz der projektbezogenen Materialien nachzuweisen. Der Nachweis gegen Gleiten der Oberflächenabdichtung in Böschungsfallrichtung ist gemäß 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 (BAM 2010).

Zum Nachweis der Standsicherheit unter Berücksichtigung von Kettenfahrzeugen zum Einbau der Rekultivierungsschicht im Böschungsbereich wird ein Nachweiskonzept von SAATHOFF/WERTH, 2005 beschrieben.

Ergänzend können standsicherheitsrelevante Nachweise erforderlich werden, die Sonderfälle aus hydraulischen Einflüssen an der Schichtgrenze Kunststoff-Dränelement/Rekultivierungsboden berücksichtigen:

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

Berechnungsansätze finden sich bei SAATHOFF, 1999 und WERTH, 2008. Nachweisverfahren und konstruktive Lösungen für den Böschungsfußbereich unter Berücksichtigung o.g. hydraulischer Sonderfälle sind in BORRMANN, 2007 aufgeführt.

5.5 Ausführung und Qualitätssicherung

Die in den Zulassungen der BAM und in E 5-5 sowie in den Verlegeanleitungen des Herstellers genannten Anforderungen zum fachgerechten Einbau und Überbau der Kunststoff-Dränelemente sowie zur Qualitätssicherung sind zu beachten.

Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 2000: Bewertung von Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altdeponielagerungen, Merkblatt Nr. 3.6/5, München
- BORRMANN, C., 2007: Bewertung von Dränsystemen in Oberflächenabdichtungen unter Langzeitaspekten mit besonderem Augenmerk auf geosynthetische Dränelemente, in: 23. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- BRÄCKER, W.; 2008: Abfallwirtschaftsfakten 5.2, Dränelemente aus Kunststoff als Entwässerungsschicht in Deponieoberflächenabdichtungen, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, September 2008
- LESAFFRE, B., 1987: Analytical Formulae for Travers Drainage of Sloping Lands with Constant Rainfall, Irrigation and Drainage Systems, Vol. I, No. 2
- MÜLLER, W., 2007: Funktionsdauer von Dränmatten ab Entwässerungselemente in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten, in: 23. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- MÜLLER-ROCHHOLZ, J.; BRONSTEIN, Z.; RETZLAFF, J., 2009: Dränmatten als Dränelemente in Oberflächenabdichtungen - Anforderungen an das Langzeitverhalten, Produktbezogene Eignungsnachweise, Projektbezogene Funktionsnachweise, in: 25. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg

- RAMKE, H.-G., 1991: Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle - Wasserhaushalt, hydraulische Kennwerte, Berechnungsverfahren – Dissertation
Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Heft 114
Technische Universität Braunschweig
- RAMKE, H.-G., 2002: Oberflächenwassersammlung und –ableitung
in: Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4542,
Erich Schmidt Verlag, Berlin
- SAATHOFF, F., 1999: Dränsysteme aus Wirtgelege und Vliesstoff
in: 15. Fachtagung "Die sichere Deponie"
Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- SAATHOFF, F.; WERTH, K., 2005: Standsicherheitsnachweise für
Oberflächendichtungssysteme - Anmerkungen zum Lastfall Einbau
geschichteter Systeme mit Geokunststoffen, in: 21. Fachtagung „Die sichere
Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- SCHMID, B.H., 1993: Die maximale Wassertiefe über gleichmäßig beaufschlagten, geneigten
Dichtungshorizonten, Wasser und Boden, Heft 9
- WERTH, K., 2008: Einflüsse aus der Rekultivierungsschicht auf die langfristige hydraulische
Leistungsfähigkeit von geosynthetischen Entwässerungsschichten in
Deponieoberflächenabdichtungen, 4. Leipziger Deponiefachtagung,
Hochschule für Technik, Tagungsband, Februar 2008

Regelwerke

- BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM), 2010: Richtlinie für die
Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächen-
abdichtungen, Berlin
- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager,
Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts,
27.4.2009, BGBl. I, S. 900
- DIN 19 667:2009-10: Dränung von Deponien Dränung von Deponien – Planung,
Bauausführung und Betrieb
- DIN EN ISO 12958:1999-06: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung
des Wasserableitvermögens in der Ebene
- DVWK-MERKBLATT 221-1992: Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien im Wasserbau
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef
- EAG-DRÄN, 2010; Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Dränmatten (Entwurf)
AK 5.1 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT e.V.,
Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN
(LANUV), 2010: Technische Anforderungen an Deponieabdichtungssysteme,
Düsseldorf

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Höxter
37671 Höxter, hans-guenter.ramke@hs-owl.de

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke, Höxter
Prof. Dr.-Ing. F. Saathoff, Rostock
Dipl.-Ing. K. Werth, Espelkamp