

E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen

Oktober 2023

Inhalt

1	Allgemeines	1
2	Anforderungen	2
3	Hydraulische Beanspruchungen	3
4	Mineralische Entwässerungsschichten	5
4.1	Konstruktive Gestaltung	5
4.2	Hydraulische Nachweise	6
4.3	Stand sicherheitsnachweise	11
5	Kunststoff-Dränelemente	12
5.1	Allgemeines	12
5.2	Materialbeschreibung	12
5.3	Hydraulischer Nachweis (Dränleistung)	13
5.4	Stand sicherheitsnachweise	16
5.5	Ausführung und Qualitätssicherung	16
	Literatur	16
	Regelwerke	17

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 Schicht 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.

Zur Planung von Oberflächenentwässerungssystemen finden sich in den folgenden Regelwerken und Empfehlungen Angaben und Hinweise, die jeweils aktuelle Fassung ist heranzuziehen:

- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV)
- DIN 19 667: Dränung von Deponien
- BQS 6.1: Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen
- BQS 6.2: Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen

Weitere zu berücksichtigende spezifische GDA-Empfehlungen sind:

- E 2-30: Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme 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 gelten grundsätzlich.

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 Deponiekategorie 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:

- Wasserspeichervermögen 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 wurden in Deutschland mit 25 bis 35 mm/d gemessen (HENKEN-MELLIES/SCHWEIZER 2011, MELCHIOR 2012).

Für die Vorbemessungen von Entwässerungsschichten sollte grundsätzlich von einer maßgeblichen Dränspende von $q_s = 25 \text{ L/(m}^2\cdot\text{d)} = 25 \text{ mm/d}$ (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).

Die Böschungsgeometrie ist bei der hydraulischen Dimensionierung zu berücksichtigen. Bei im Grundriss konkaven Böschungen (einspringende Ecken) konzentrieren sich die Dränabflüsse zum Böschungsfuß hin auf, während sich bei konvexen Böschungen (vorspringende Ecken) die Dränabflüsse auf einer größeren Böschungslänge verteilen.

4 Mineralische Entwässerungsschichten

4.1 Konstruktive Gestaltung

Gemäß Anhang 1 der DEPV soll die Mindestdicke der mineralischen Entwässerungsschichten 30 cm betragen, und der Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/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 Carbonatgehalt 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 (Mindestdurchmesser 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]

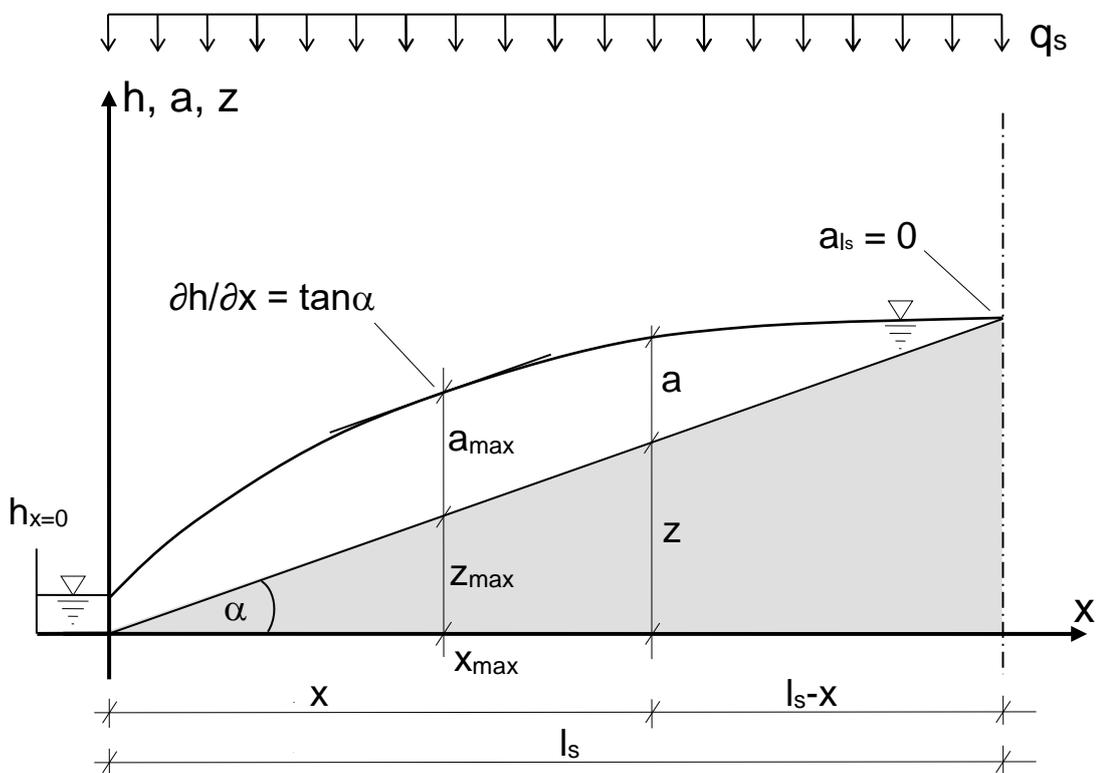


Bild 2-20.1 Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle; rechte Randbedingung: kein Aufstau am Ende des Einzugsbereichs

Die Gleichung (2) 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).

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.

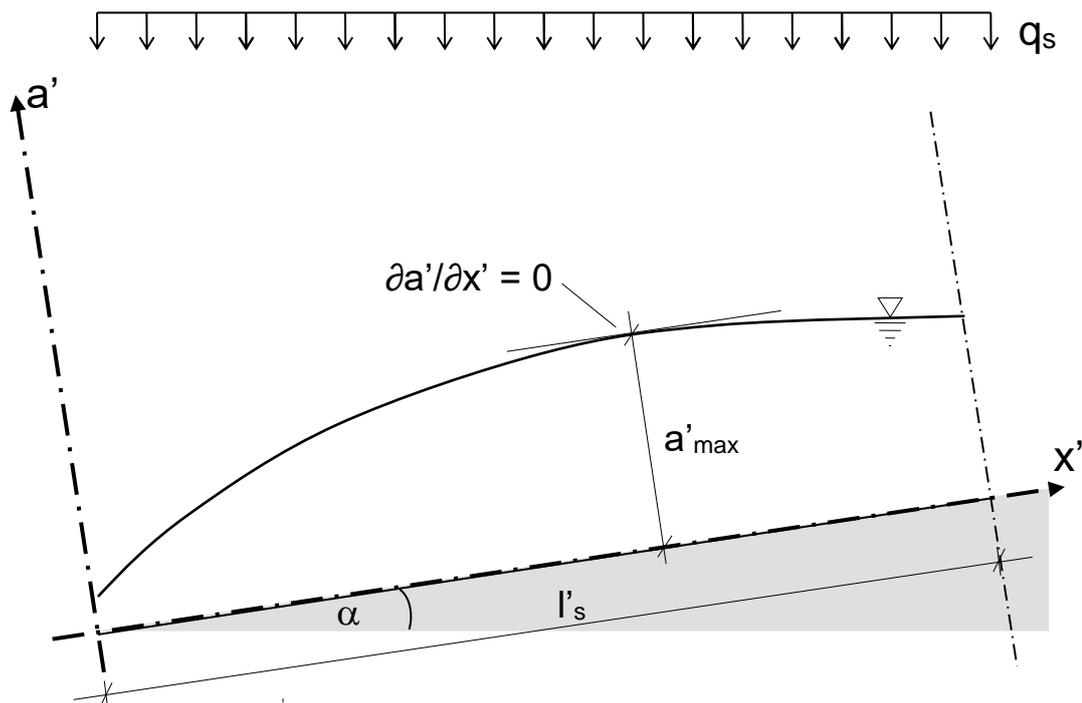


Bild 2-20.2: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle –
Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach SCHMID

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

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

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:

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

mit

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

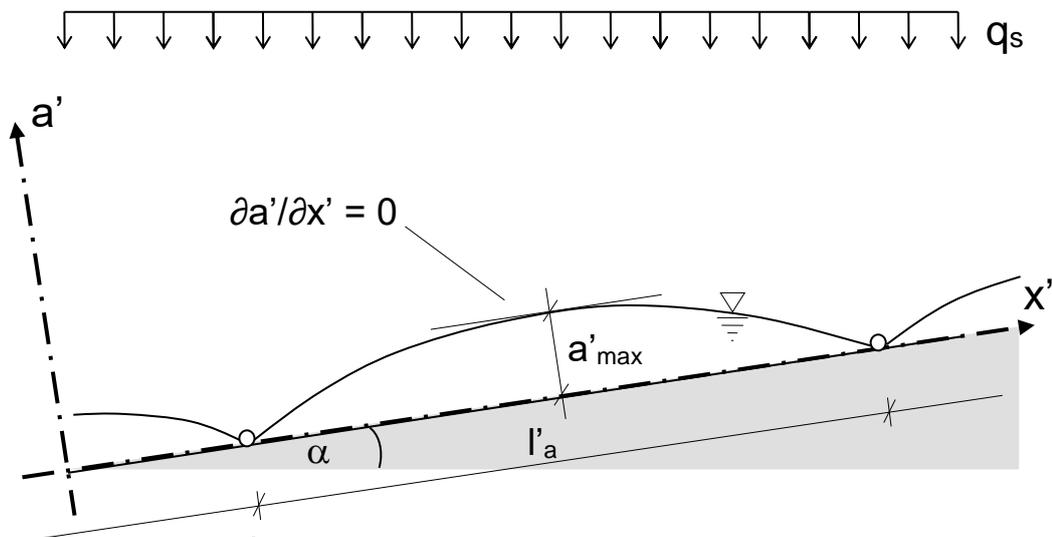


Bild 2-20.3: Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle - Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE

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 Stand-sicherheitsnachweises (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 in der Regel 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 von 25 mm/d, einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_x = 10^{-3}$ 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 $k_x = 10^{-4}$ 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 $k_x = 10^{-3}$ m/s fließt auch bei einer Böschungsneigung von 2 % der Dränabfluss ausschließlich in den talseitigen Drän. Bei einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_x = 10^{-4}$ 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.

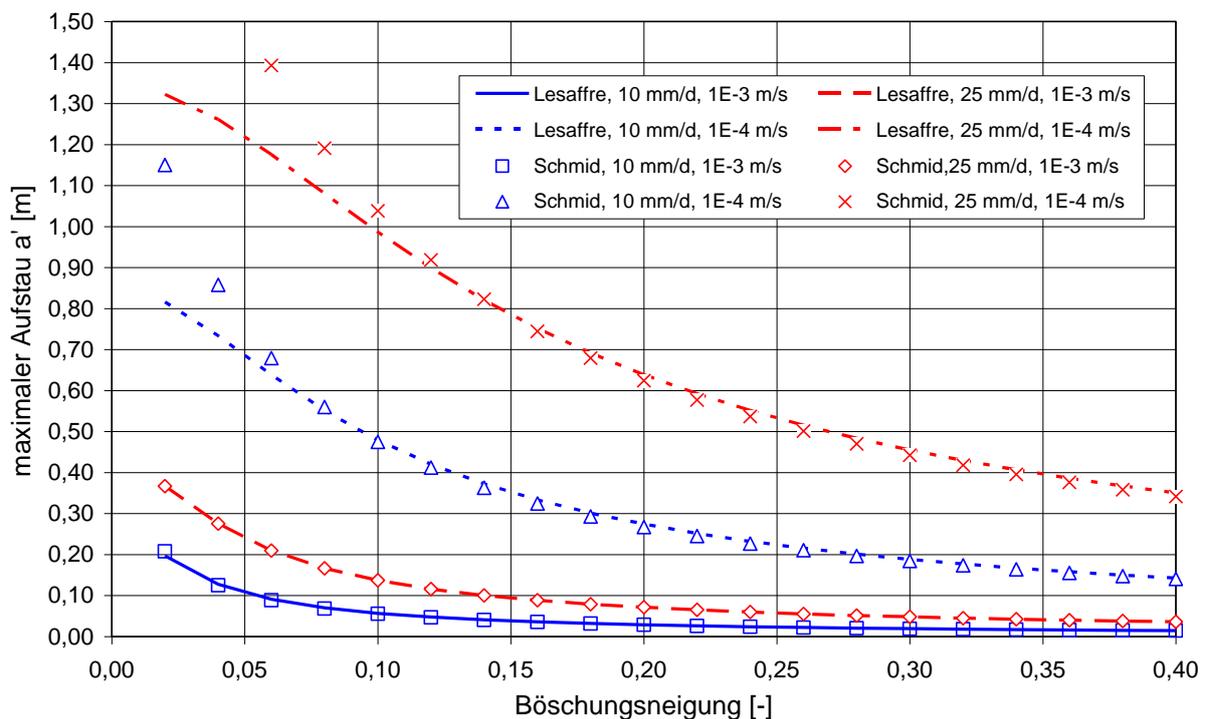


Bild 2-20.4: Berechnungsbeispiel für mineralische Entwässerungsschichten – Einfluss der Böschungsneigung auf den maximalen Wasseraufstau ($k_x = 1 \cdot 10^{-3}$ bzw. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, Böschungslänge 50 m)

Bild 2-20.5 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 $k_x = 10^{-3}$ 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 $k_x = 10^{-4}$ 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 $k_x = 10^{-3}$ m/s beträgt, bei einem Durchlässigkeitsbeiwert $k_x = 10^{-4}$ 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).

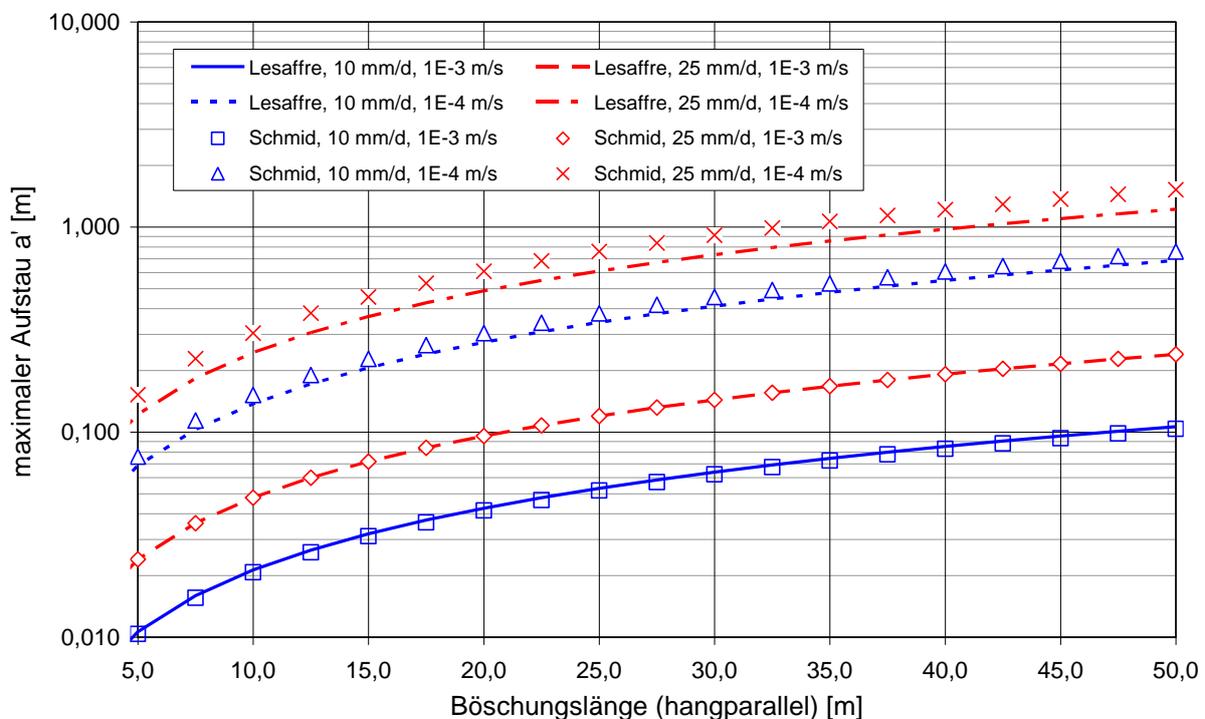


Bild 2-20.5: Berechnungsbeispiel für mineralische Entwässerungsschichten - Einfluss der Böschungslänge auf den maximalen Wasseraufstau ($k_x = 1 \cdot 10^{-3}$ bzw. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, Böschungsneigung 5 %)

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 in der Bemessung angesetzten Dränspende oder 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 Ersatz des näherungsweise 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 sind gemäß DEPV Zulassungen durch die BAM erforderlich. Grundlage bildet die Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen (BAM, 2022).

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 aufbrachten Filtergeotextil.

In der Regel wird werkseitig auch auf der Unterseite ein Geotextil als Stütz- und Schutzschicht aufgebracht.

Kunststoff-Dränelemente 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 $\geq 300 \text{ g/m}^2$,
- Stempeldurchdruckkraft $\geq 2,5 \text{ kN}$
- 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, 2022).

Weiterhin muss grundsätzlich bei jedem Bauvorhaben eine Bemessung nach den Filterregeln des DWA-Merkblatts M 551, 2017 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 12958-1/2 ermittelte Wasserableitvermögen $q \text{ [L/(m}\cdot\text{s)]}$ 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, 2022 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.

In den Zulassungen der BAM für Kunststoff-Dränelemente ist das Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} [L/(m·s)], 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, 2022 für Funktionsdauern ≥ 100 Jahre mit Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 2-20.1 abzumindern (siehe Gleichung (6)):

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

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

Die Abminderungsfaktoren D₁ und D₃ sind Materialwiderstandsbeiwerte und in BAM, 2022 geregelt. Der Abminderungsfaktor D₂ ist bei üblichen Baustellenrandbedingungen sowie Qualitätssicherungs- und Fremdüberwachungsmaßnahmen ausreichend. Der Abminderungsfaktor D₄ sollte in Abhängigkeit von Mächtigkeit und Gestaltung des Bewuchses der Rekultivierungsschicht festgelegt werden. Empfohlen wird eine Staffelung mit D₄ = 2,0 für 1,0 m mächtige Rekultivierungsschichten und D₄ = 1,1 bei 2,50 m mächtigen Rekultivierungsschichten in Anlehnung an LANUV, 2015. Aufgrund besonderer Erfahrungen und/oder produktspezifischer Nachweise können abweichende Abminderungsfaktoren angesetzt werden.

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

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

mit

$q_{LZ,d}$	= Bemessungswert des Langzeit-Wasserableitvermögens	[L/(m·s)]
q_a	= spezifischer Dränabfluss	[L/(m·s)]
q_s	= Dränspende	[L/(m ² ·s)]
l_s	= Entwässerungslänge	[m]

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 DWA-Merkblatt M 511, 2017 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 labortech- nisch 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 2022).

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. Nachweisver- fahren und konstruktive Lösungen für den Böschungsfußbereich unter Berücksichti- gung 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 Entwässerungs- schichten in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altablagerungen, Merkblatt Nr. 3.6/5, München

BORRMANN, C., 2007: Bewertung von Dränsystemen in Oberflächendichtungen unter Lang- zeitaspekten mit besonderem Augenmerk auf geosynthetische Dränelemente, in: 23. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg

HENKEN-MELLIES, W. U.; SCHWEIZER, A., 2011: Long-term Performance of Landfill Covers – Results of Lysimeter Test Fields in Bavaria (Germany) Waste Management & Research 29 (1)

LESAFFRE, B., 1987: Analytical Formulae for Travers Drainage of Sloping Lands with Constant Rainfall, Irrigation and Drainage Systems, Vol. I, No. 2

- MELCHIOR, S., 2012: Wechselwirkungen zwischen mineralischen Komponenten von Oberflächenabdichtungssystemen, , in: 28. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Süddeutsches Kunststoffzentrum, Würzburg
- MÜLLER, W., 2007: Funktionsdauer von Dränmatten als 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, TU 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), 2022: Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen, 11. Auflage, Berlin
- BUNDESEINHEITLICHER QUALITÄTSSTANDARD 6-1 (BQS 6-1), 2020: Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen
LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Stand 02.12.2020

BUNDESEINHEITLICHER QUALITÄTSSTANDARD 6-2 (BQS 6-2), 2020: Mineralische Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen aus nicht natürlichen Baustoffen
LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, Stand 02.12.2020

DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 27.4.2009, BGBl. I, S. 900, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 09.07.2021, BGBl. I S. 2598

DIN 19667:2015-08: Dränung von Deponien - Planung, Bauausführung und Betrieb

DIN EN ISO 12958-1:2021-05: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Wasserableitvermögens in der Ebene - Teil 1: Index-Prüfverfahren

DIN EN ISO 12958-2:2021-05: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Wasserableitvermögens in der Ebene - Teil 2: Leistungs-Prüfverfahren

DWA-MERKBLATT M 511, 2017: Filtern mit Geokunststoffen
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (LANUV), 2015: Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme, LANUV-Arbeitsblatt 13, Düsseldorf

Vorgängerversion: Mai 2015

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Abfallwirtschaft und Deponietechnik
38116 Braunschweig, hg.ramke@gmx.de

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. H.-G. Ramke, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. F. Saathoff, Rostock