

## **Merkblatt Nr. 3.6/5**

**Stand: Oktober 2014**

Ansprechpartner: Referat 36

# **Bewertung von Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altablagerungen**

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Situation und Sachverhalt</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wasserwirtschaftliche Beurteilung</b>	<b>2</b>
2.1	Materialkennwerte	2
2.1.1	Filtertechnische Bemessung	2
2.1.2	Standicherheit	3
2.1.3	Anforderungen an das Material	3
2.1.4	Einbaubedingungen	3
2.2	Wasserableitungsvermögen	3
2.2.1	Mineralische Entwässerungsschicht	4
2.2.2	Geokomposit	4
2.3	Langzeitbeständigkeit	4
<b>3</b>	<b>Nachweis der Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Literatur</b>	<b>5</b>
<b>Anlage 1 Auswahl einiger handelsüblicher Produkte für Geokomposite (Dränmatten)</b>		<b>7</b>
<b>Anlage 2 Darstellung des Abflussverhaltens</b>		<b>8</b>
<b>Anlage 3 Versuchsaufbau zur Ermittlung des Wasserableitungsvermögens eines Geokomposits (DIN EN ISO 12958)</b>		<b>9</b>
<b>Anlage 4 Ermittlung der Abflüsse aus der Entwässerungsschicht in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altablagerungen</b>		<b>10</b>

## 1 Situation und Sachverhalt

Als wesentliches Element des Oberflächenabdichtungssystems wird jeweils über dem Abdichtungselement eine Entwässerungsschicht angeordnet, um die Einstauhöhe über der Abdichtung zu minimieren. Damit soll die Einsickerung von Niederschlagswasser durch die Abdichtungsschicht in den Müllkörper verhindert und die Erhaltung der Böschungsstabilität erreicht werden.

Bei der Planung von Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen können folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen werden

- Kiesdräne
- geeignetes mineralisches Recyclingmaterial
- Geokomposite (Dränmatten).

Geokomposite, die als Entwässerungsschicht verwendet werden können, sind in der Regel Verbundstoffe aus Vliesstoff und Dränschicht. Die hydraulischen Eigenschaften dieser Geokomposite werden im Wesentlichen von der Art der Dränschicht bestimmt. Je nach Hersteller werden Dränschichten aus Kunststoff-Recyclingmaterial, gitterförmig oder als Wirrgelege aufgebaut (Anlage 1).

Die industriell gefertigten Entwässerungselemente (Dränmatten) bedürfen einer Zulassung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Auf der Grundlage der BAM Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen [5] werden für die einzelnen Produkte Eignungsnachweise erstellt. Die Liste der BAM zugelassenen Kunststoff-Dränelemente wird als Tabelle 1.5 [5] im Internet bereitgestellt. Die von der Deponieverordnung [2] geforderte Langzeitbeständigkeit (100 Jahre) ist bei der Zulassung bereits berücksichtigt worden.

## 2 Wasserwirtschaftliche Beurteilung

Damit ein Entwässerungssystem dauerhaft funktionsfähig und ausreichend bemessen ist, müssen folgende Kriterien beachtet werden:

- Materialkennwerte
  - ausreichende Filterstabilität gegenüber den angrenzenden Böden
  - Nachweis der Standsicherheit
  - Anforderungen an das Material
  - fachgerechtes Transportieren, Lagern und Einbauen
- ausreichendes Wasserableitungsvermögen (hydraulische Leistungsfähigkeit)
- Langzeitbeständigkeit im Milieu einer Oberflächenabdichtung

### 2.1 Materialkennwerte

#### 2.1.1 Filtertechnische Bemessung

Die filtertechnische Bemessung ist in zwei Schritten für die mit der Entwässerungsschicht im Kontakt stehenden Böden hinsichtlich

- mechanische Filterfestigkeit (Bodenrückhaltevermögen) und
- hydraulische Filterwirksamkeit (druckverlustarme Wasserableitung) vorzunehmen.

Bei der Verwendung von Geotextilien sowie Geokompositen ist das DVWK Merkblatt 221 [1] zu berücksichtigen. Mineralische Entwässerungsschichten ohne Geotextilien (Kiesdräne bzw. geeignetes mineralisches Recyclingmaterial) sind nach den Filterregeln zu dimensionieren (Filtergesetz nach Terzaghi).

Damit die Funktionsfähigkeit der Entwässerungsschicht gewährleistet ist, reicht die einmalige filtertechnische Bemessung gegenüber den anstehenden Böden allein nicht aus, sondern es muss zusätzlich eine Qualitätssicherung der Böden, hinsichtlich der in der Bemessung gewählten Kornverteilung, durchgeführt werden.

### **2.1.2 Standsicherheit**

Damit die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems langfristig gewährleistet ist, muss die innere Scherfestigkeit und der Scherwiderstand zu den angrenzenden Böden oder Geokunststofflagen (z. B. Kunststoffdichtungsbahn) ausreichend sein. Dies ist durch eine Berechnung nachzuweisen.

### **2.1.3 Anforderungen an das Material**

Mineralische Entwässerungsschichten müssen eine ausreichende Festigkeit besitzen und dürfen keine leicht löslichen Bestandteile haben. Auch ist bei der Verwendung von Recyclingmaterial (z. B. Bauschutt) darauf zu achten, dass die Vorgaben nach Anhang 3 Nr. 1 Tabelle 1 Nr. 4.3 DepV [2] nicht überschritten werden. Entsprechende Nachweise sind vorzulegen.

### **2.1.4 Einbaubedingungen**

Werden für die Entwässerungsschicht Geokomposite verwendet, so müssen diese genügend mechanische Festigkeit besitzen, um bei Transport und Einbau nicht beschädigt zu werden. Ebenso muss während der Lagerung und des Einbaus in freier Atmosphäre die Dauerbeständigkeit des Geokomposits gewährleistet sein (UV- und Temperaturbeständigkeit). Der Nachweis ist durch Vorlage von Prüfzeugnissen zu erbringen.

## **2.2 Wasserableitungsvermögen**

In Anlage 2 ist für ein gewähltes Niederschlagsereignis das unterschiedliche Abflussverhalten einer mineralischen Entwässerungsschicht und eines Geokomposits dargestellt (die Rekultivierungsschicht wurde in diesem Beispiel als gesättigt angenommen, ein Oberflächenabfluss findet aufgrund der geringen Niederschlagsintensität nicht statt). Wegen ihrer geringen Stärke müssen Geokomposite, um die gleiche Wassermenge wie eine mineralische Entwässerungsschicht ableiten zu können, eine höhere Durchlässigkeit aufweisen. Dies hat zur Folge, dass bei gleichen Böschungsneigungen die Fließgeschwindigkeit des abzuleitenden Wassers im Geokomposit grösser ist als in der mineralischen Entwässerungsschicht. Bei gleicher Niederschlagsdauer führt dies im Geokomposit zu längeren Fließwegen und damit zu einem größeren zu entwässernden Bereich als bei einer mineralischen Entwässerungsschicht. Es zeigt sich, dass eine Entwässerungsschicht aus einem Geokomposit sehr rasch auf Beginn und Ende eines Niederschlagsereignisses reagiert und einen hohen Abfluss bewältigen muss. Eine mineralische Entwässerungsschicht reagiert dagegen relativ langsam. Die Entwässerungszeit ist um ein vielfaches länger und der Abfluss entsprechend gering. Dieses unterschiedliche Abflussverhalten ist bei der Beurteilung des Gesamtsystems Oberflächenabdichtung zu berücksichtigen. So ist wegen der langen Fließzeit des Wassers in einer mineralischen Entwässerungsschicht die Austrocknungsgefahr bei einer mineralischen Abdichtung geringer einzustufen. Jedoch können mehrere Niederschlagsereignisse hintereinander durch Aufsummierung der Abflüsse zu einer zeitweisen Überlastung der Entwässerungsschicht und damit zu einer geringfügigen Durchsickerung der Abdichtungsschicht führen. Bei Abdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen könnte an steilen Böschungen, um die Standsicherheit in der Fuge Kunststoffdichtungsbahn-Geokomposit zu gewährleisten, die Verwendung eines ausreichend dimensionierten Geokomposit sinnvoll sein (geringe Auflast, geringer Strömungsdruck).

### 2.2.1 Mineralische Entwässerungsschicht

Gemäß Deponieverordnung DepV [2] beträgt die Stärke der mineralischen Entwässerungsschicht  $d_E$  mindestens 0,3 m, der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert  $k_{f,E}$  muss grösser  $1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  sein. Das Wasserableitungsvermögen  $q_{E,L}$  der mineralischen Entwässerungsschicht berechnet sich für eine bestimmte Böschungsneigung  $l$  dann bezogen auf einen Breitenmeter zu

$$q_{E,L} = k_{f,E} \cdot i \cdot d_E \quad \text{mit } i = \sin(\arctan l)$$

Für kleine Böschungsneigungen ( $l \leq 0,33$ ) kann für den hydraulische Gradient  $i$  näherungsweise mit der Böschungsneigung  $l$  gerechnet werden. Es gilt dann

$$q_{E,L} = k_{f,E} \cdot l \cdot d_E$$

### 2.2.2 Geokomposit

Werden Entwässerungsschichten mit Geokompositen ausgeführt, so ist deren Wasserableitungsvermögen  $q_{E,L}$  mit Durchströmungsversuchen (Anlage 3) und hydraulischen Berechnungen darzustellen. Bei diesen Versuchen sind folgende wesentliche Randbedingungen, die für die Verwendung von Geokompositen als Entwässerungsschicht maßgebend sind, zu beachten:

- die Belastung ist entsprechend der Auflast durch die Rekultivierungsschicht zu wählen (1 m Schichtdicke entspricht ca. 20 kPa) und
- Mindest- und Maximalgefälle der Entwässerungsschicht sind durch unterschiedliche hydraulische Gradienten einzustellen.

Die Bettung des Geokomposits im Versuch sollte dabei möglichst projektspezifisch sein, d.h. sie sollte den späteren Einbaubedingungen entsprechen:

- starre Unterlage bei einer Kunststoffdichtungsbahn
- weiche Unterlage bei einer mineralischen Abdichtungsschicht
- weiches Auflager für die Rekultivierungsschicht.

Auch sollte die verbleibende langfristige Restdicke des Geokomposits unter Dauerlast durch Extrapolation der Versuchsergebnisse auf 100 Jahre ermittelt werden.

### 2.3 Langzeitbeständigkeit

Um die langfristige Funktionfähigkeit der Entwässerungsschicht zu gewährleisten, ist bei der Bemessung das rechnerisch, bzw. im Labor ermittelte Wasserableitungsvermögen  $q_{E,L}$  der Entwässerungsschicht abzumindern. Bei einer mineralischen Entwässerungsschicht nach den Technischen Empfehlungen ist aufgrund der hohen Leistungsreserve kein Abminderungsfaktor erforderlich. Für ein Geokomposit ist wegen der geringen Stärke und des Materialverhaltens (Kriechverformungen des Kunststoffes, lokale Verformungen, Ausfällungen sowie Durchwurzelungen), welche die langfristige Funktionsfähigkeit nachteilig verändern können sowie der allgemeinen Systemunsicherheiten, einer in der Tabelle aufgeführten Abminderungsfaktoren zu wählen:

Tabelle: Abminderungsfaktoren für Geokomposite

Abminderungsfaktor $f$ für	Bettung starr/starr	Bettung projektspezifisch
Geokomposit <u>ohne</u> Angabe zum Wasserableitungsvermögen bei extrapoliertem Dicke nach 100 Jahren	5	3
Geokomposit <u>mit</u> Angabe zum Wasserableitungsvermögen bei extrapoliertem Dicke nach 100 Jahren	3,5	2

---

### 3 Nachweis der Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht

Um Entwässerungssysteme bezüglich ihres hydraulischen Verhaltens prüfen zu können, ist in Anlage 4 ein Rechenmodell enthalten, das neben der Böschungsgeometrie auch verschiedene Niederschlagsereignisse sowie Materialkennwerte der Rekultivierungsschicht als auch der Entwässerungsschicht berücksichtigt (Anlage 4).

Aus der Bedingung, dass der maximale Abfluss in der Entwässerungsschicht  $q_{E,N}$  kleiner / gleich den rechnerisch bzw. im Labor ermittelten Wasserableitungsvermögen  $q_{E,L}$  der Entwässerungsschicht – mit Berücksichtigung des Abminderungsfaktors  $f$  aus Nr. 2.3 - ist, wird mit

$$q_{E,N} \leq \frac{q_{E,L}}{f}$$

letztendlich der Nachweis für die ausreichende Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht erbracht.

Hinweis:

Durch gezielte Auswahl der Bodenart, des Pflanzenbewuchses und des Einbaus, kann ein großer Einfluss auf den Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht und damit auf den Wasseranfall in der Entwässerungsschicht genommen werden. Werden daher in der Berechnung des Wasserableitungsvermögens der Entwässerungsschicht für die Rekultivierungsschicht rechnerische Annahmen getroffen, so sind diese im Qualitätssicherungsplan festzulegen und die dazu erforderlichen Prüfungen sowie der Prüfungsumfang zu beschreiben.

Alternativ ist auch eine Bemessung nach den GDA-Empfehlungen E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen [6] möglich.

### 4 Literatur

- [1] Anwendung von Geotextilien im Wasserbau; DVWK Merkblatt 221 vom Mai 1992
- [2] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27.04.2009
- [3] Starkniederschlagshöhen für die Bundesrepublik Deutschland; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main
- [4] [Bodenkundliche Kartierungsanleitung KA5; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten; 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover 2005
- [5] BAM Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen und Tabelle 1.5 der BAM zugelassenen Dränelemente sind auf der Internetseite der BAM unter Abfallrecht veröffentlicht.
- [6] GDA-Empfehlung E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen

**Impressum:**

**Herausgeber:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

**Bearbeitung:**

Ref. 36 / Petra Pötzsch

**Bildnachweis:**

LfU

**Oktober 2014:**

Monat Jahr

**Postanschrift:**

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit grosser Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.

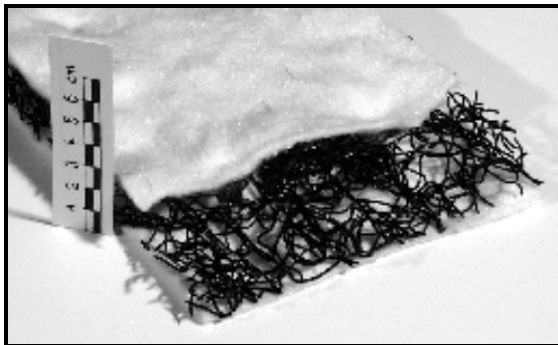


BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

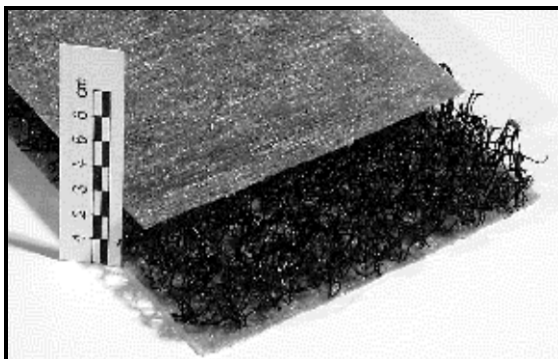
## Anlage 1 Auswahl einiger handelsüblicher Produkte für Geokomposite (Dränmatten)



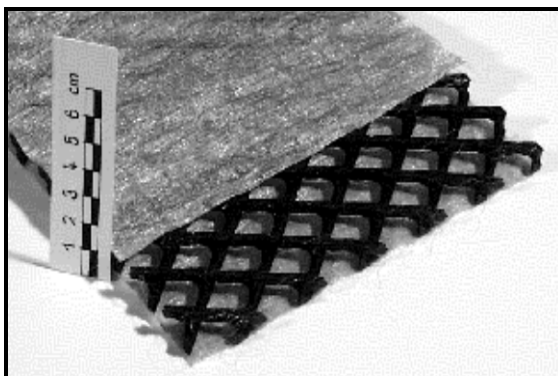
Recyclingmaterial mit thermisch verfestigtem Vlies



Wirrlage zwischen zwei mechanisch verfestigten Vliesen



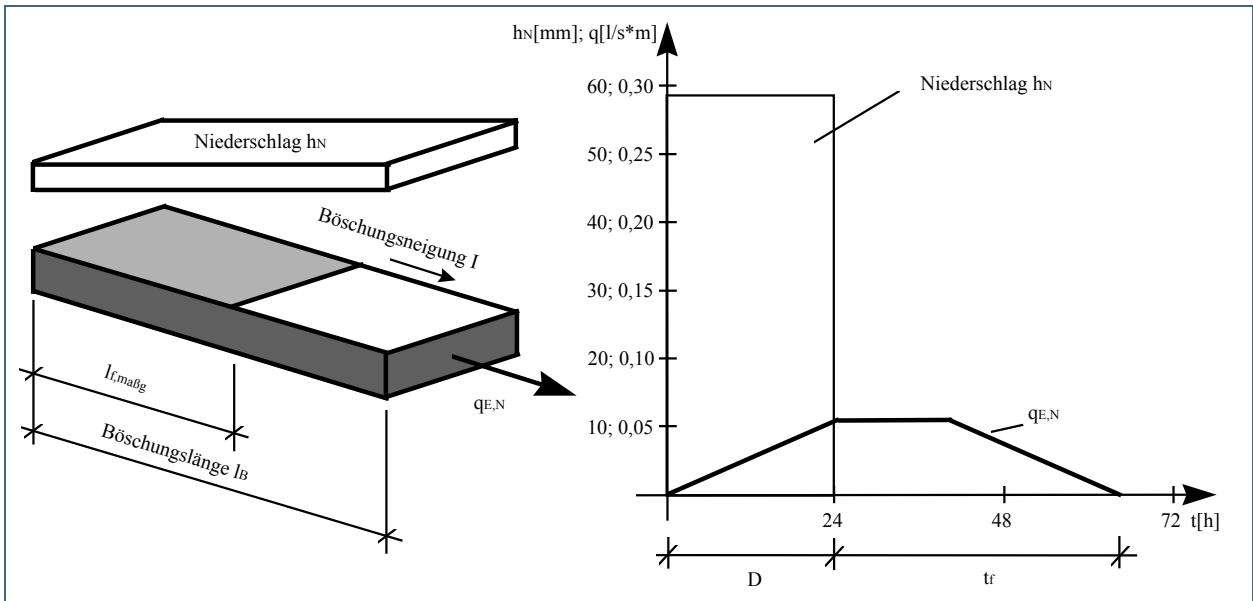
Wirrlage zwischen zwei thermisch verfestigten Vliesen



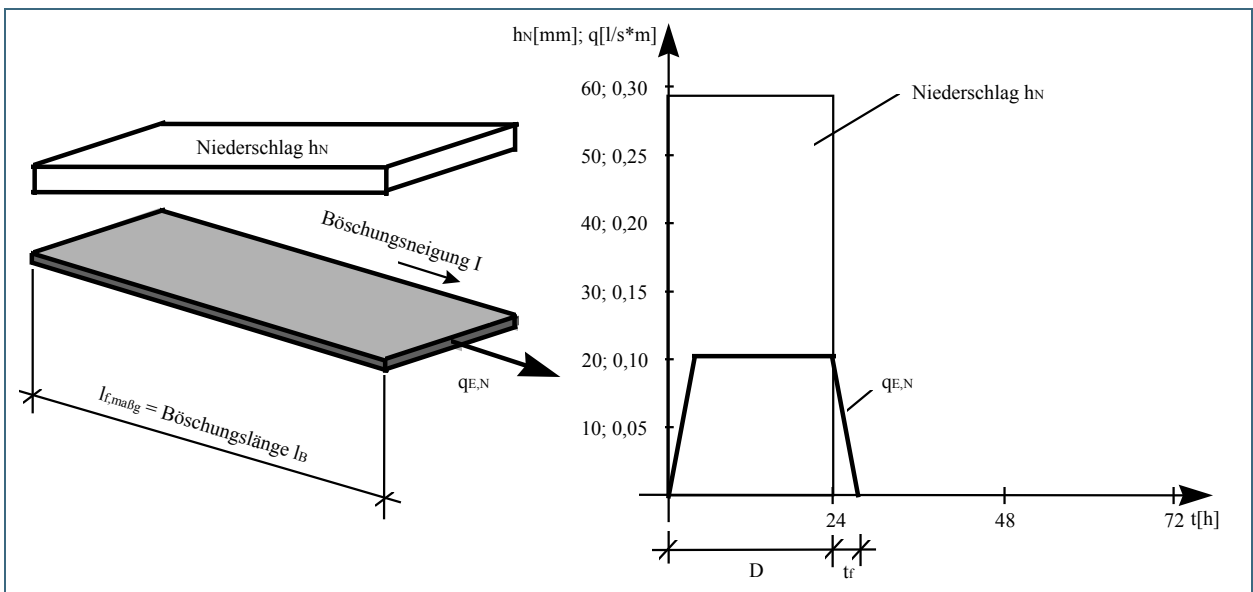
Geogitter zwischen zwei thermisch verfestigten Vliesen

## Anlage 2 Darstellung des Abflussverhaltens

### Mineralische Entwässerungsschicht (Kiesdrän)



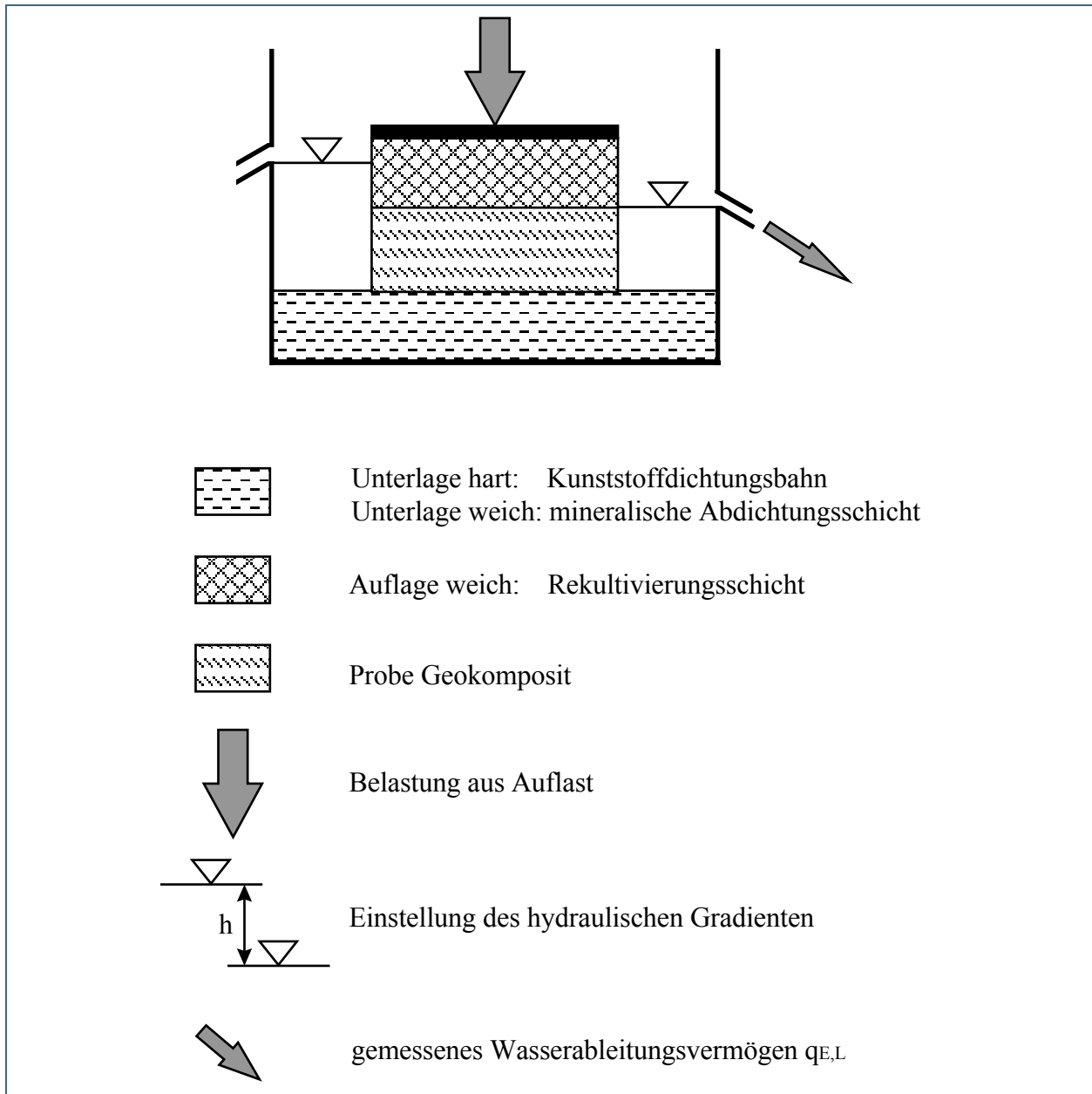
### Geokomposit (Dränmatte)





## Anlage 3

## Versuchsaufbau zur Ermittlung des Wasserableitungsvermögens eines Geokomposits (DIN EN ISO 12958)



## Anlage 4

### Ermittlung der Abflüsse aus der Entwässerungsschicht in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altablagerungen

#### 1. Allgemeines

Das infolge eines Niederschlagsereignisses (Niederschlagshöhe  $h_N$  in Abhängigkeit der Niederschlagsdauer  $D$  und der Niederschlagshäufigkeit  $T$ ; siehe [3]) auf einer Deponie bzw. Altablagerung abzuleitende Wasser teilt sich in zwei Teilströme auf (Abb. 1):

- Abfluss auf der Deponieoberfläche ( $q_{0,N}$ ) und
- Einsickerung in die Rekultivierungsschicht ( $V_R$ ).

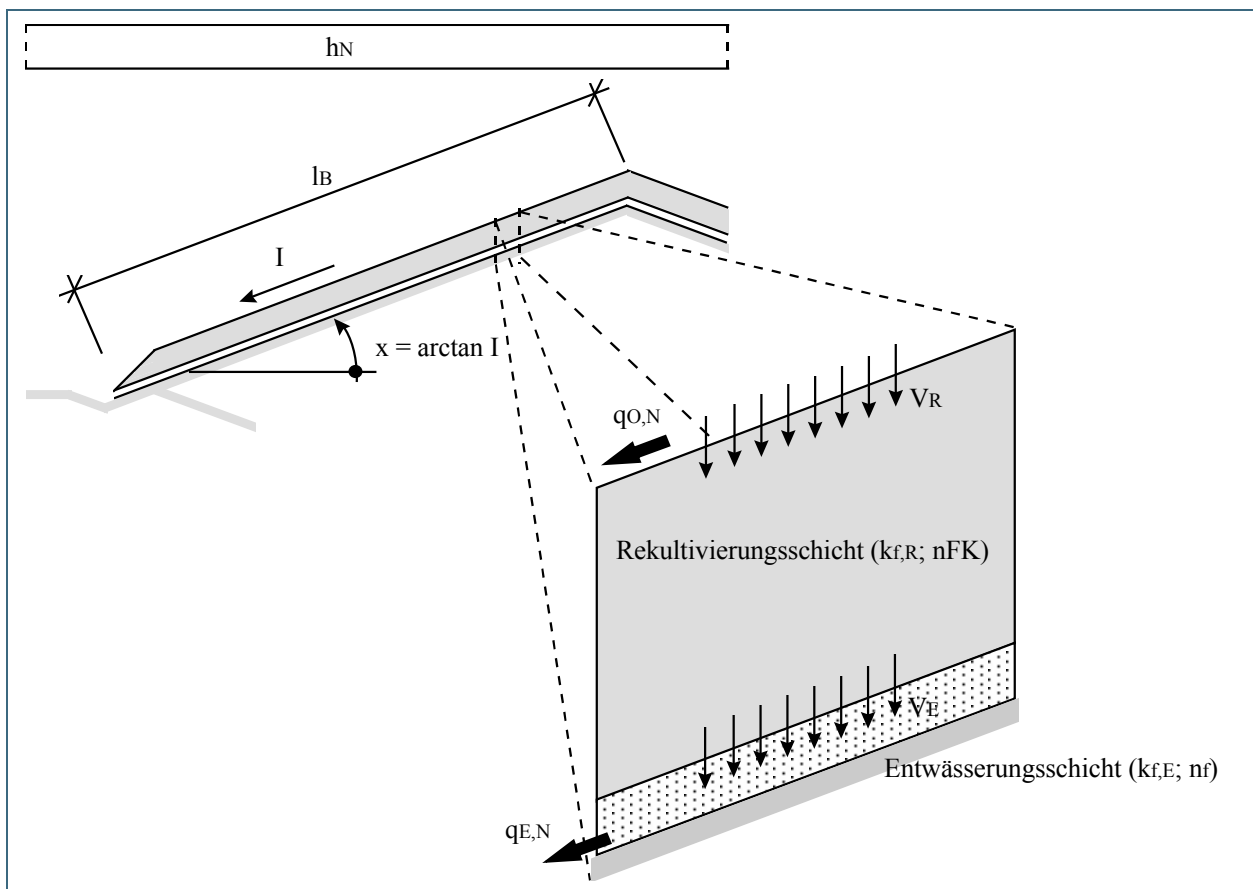


Abb. 1: Darstellung der Rechengrößen

## 2. Rechenweg

Die Einsickerung ist im Wesentlichen von der Wasserdurchlässigkeit der Rekultivierungsschicht ( $k_{f,R}$ ) abhängig. Die Wasserdurchlässigkeit kann, in Abhängigkeit der Bodenart und der Trockenrohdichte, behelfsweise aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung [4] abgeschätzt werden. Um mit gleichen Einheiten [ $m/s$  bzw.  $m^3/m^2*s$ ] rechnen zu können, muss die Niederschlagshöhe  $h_N$  [mm] durch die Niederschlagsdauer  $D$  [s] geteilt und in die Niederschlagspende  $R_N$  [ $m^3/m^2*s$ ] umgerechnet werden:

$$R_N = \frac{h_N}{D * 1000}$$

Die Niederschlagspende, die in die Rekultivierungsschicht einsickert ( $R_{R,N}$ ), kann, je nach Höhe der Niederschlagspende, mit zwei Gleichungen beschrieben werden:

$$R_{R,N} = k_{f,R} \quad (\text{für } R_N > k_{f,R})$$

$$R_{R,N} = R_N \quad (\text{für } R_N \leq k_{f,R})$$

Die Wassermenge, die - bezogen auf  $1 \text{ m}^2$  Grundfläche - in die Rekultivierungsschicht einsickert ( $V_R$ ) berechnet sich dann zu

$$V_R = R_{R,N} * D$$

Bevor das in die Rekultivierungsschicht einsickernde Niederschlagswasser in der Entwässerungsschicht zum Abfluss kommt, wird eine bestimmte Wassermenge in der Rekultivierungsschicht gespeichert (Abb. 2).

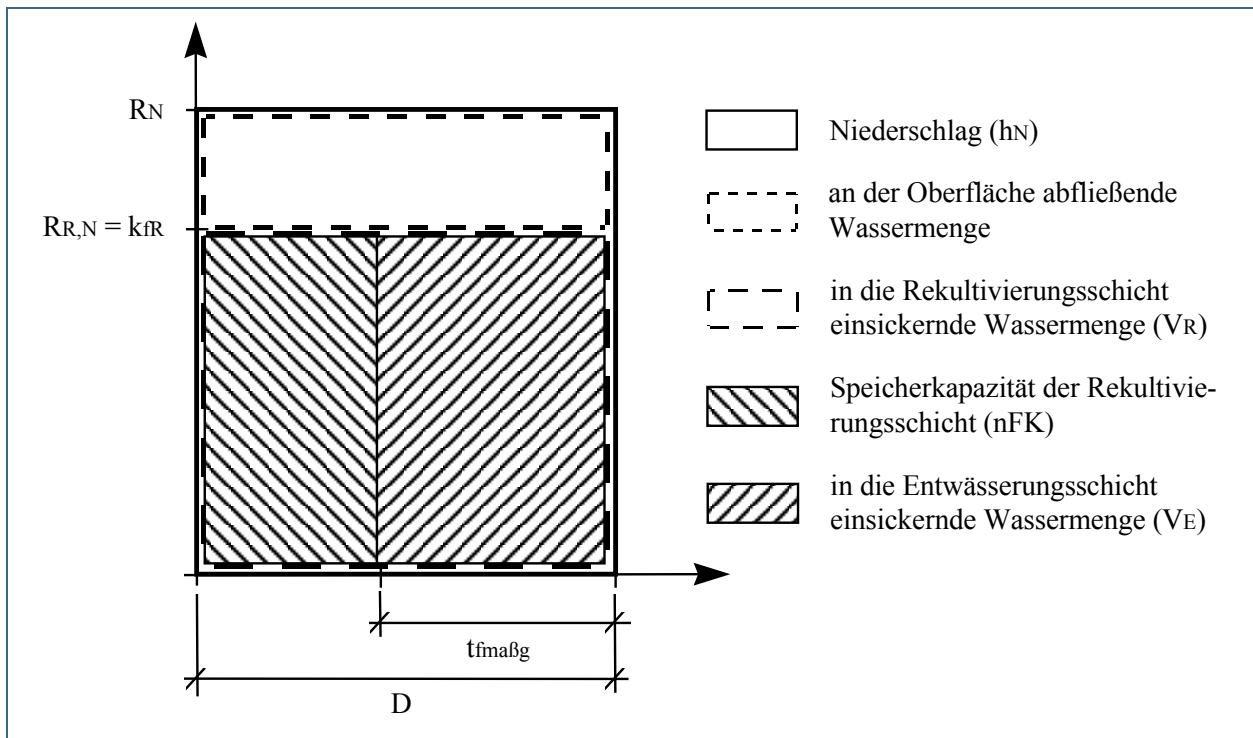


Abb. 2: Wassermengenbilanz für  $R_N > k_{f,R}$  und  $V_R > nFK$

Das Speichervolumen entspricht dem pflanzenverfügbaren Wasservolumen und wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) der Rekultivierungsschicht angegeben. Die nutzbare Feldkapazität kann in Abhängigkeit der Bodenart und der Trockenrohdichtedichte aus [4] ermittelt werden. Da die nutzbare Feldkapazität in mm angegeben wird, muss sie, entsprechend der Einheit der eingesickerten Wassermenge, in  $\text{m}^3/\text{m}^2$  umgerechnet werden. Die durchsickernde Wassermenge, die letztendlich in der Entwässerungsschicht abgeleitet wird ( $V_E$ ), erhält man, indem die nutzbare Feldkapazität von der eingesickerten Wassermenge ( $V_R$ ) abgezogen wird:

$$\begin{aligned} V_E &= V_R - nFK && \text{(für } V_R > nFK) \\ V_E &= 0 && \text{(für } V_R \leq nFK) \end{aligned}$$

Um den maximalen Abfluss in der Entwässerungsschicht berechnen zu können, muss über die Fließzeit ( $t_f$ ) und den Fließweg ( $l_f$ ) das zu entwässernde Einzugsgebiet bezogen auf einen Breitenmeter der Böschung ermittelt werden. Die maßgebliche Fließzeit ( $t_{f,\text{maßg}}$ ) rechnet sich zu

$$t_{f,\text{maßg}} = \frac{V_E}{R_{R,N}}$$

Weiter wird unter Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit in der Entwässerungsschicht ( $v_E$ ) mit der Wasserdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht ( $k_{f,E}$ ), dem hydraulischen Gradienten ( $i$ ) und dem durchflusswirksamen Porenanteil ( $n_f$ ) der Entwässerungsschicht

$$v_E = \frac{k_{f,E} * i}{n_f} \quad \text{(mit } i = \sin(\arctan I))$$

sowie mit Berücksichtigung der maßgeblichen Fließzeit ( $t_{f,\text{maßg}}$ ) der maßgebliche Fließweg ( $l_{f,\text{maßg}}$ )

$$l_{f,\text{maßg}} = v_E * t_{f,\text{maßg}}$$

berechnet (für  $I \leq 0,33$  kann näherungsweise mit  $i = I$  gerechnet werden). Sollte der maßgebliche Fließweg größer als die vorhandene Böschungslänge ( $l_B$ ) sein, ist für den maßgeblichen Fließweg die Böschungslänge anzusetzen:

$$l_{f,\text{maßg}} = l_B \quad \text{(für } v_E * t_{f,\text{maßg}} \geq l_B)$$

Der maximale Abfluß in der Entwässerungsschicht ( $q_{E,N}$ ) pro Breitenmeter der Böschung infolge eines Niederschlagsereignisses berechnet sich mit Berücksichtigung der Böschungsneigung ( $I$ ) zu

$$q_{E,N} = R_{R,N} * \cos(\arctan I) * l_{f,\text{maßg}}$$

(für  $I \leq 0,33$  kann der  $\cos(\arctan I)$  näherungsweise mit 1 angesetzt werden).

### 3. Darstellung der Ergebnisse

Mit den o. g. Gesetzmäßigkeiten, den standortspezifischen Niederschlagsdaten für unterschiedliche Niederschlagshäufigkeiten sowie den Eingangsgrößen für die Rekultivierungsschicht, die Böschungsgeometrie und die Entwässerungsschicht kann für jeden Einzelfall die Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht ermittelt und beurteilt werden (Abb. 3).

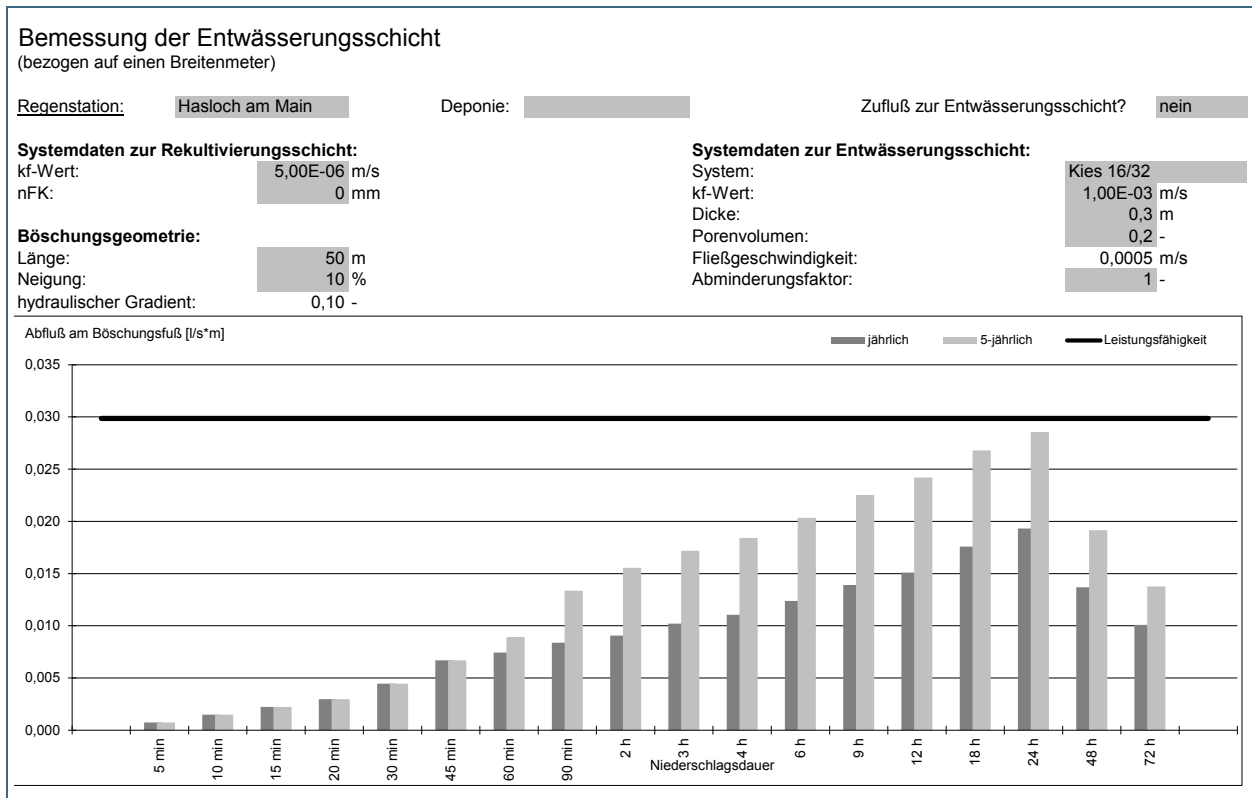


Abb. 3: Berechnung der Abflüsse in einem Kiesdrän