

Permeation mineralischer Oberflächenabdichtungen mit integrierter Wasserspeicherschicht

Clemens Borrmann*

1. Einführung

Im System Oberflächenabdichtung auf Deponien spielt die mineralische Dichtungsschicht, bestehend aus Ton, eine wesentliche Rolle und gehörte zumindest bis zum Erlass der Deponievereinfachungsverordnung zum Regelsystemaufbau. Auch in der genannten Verordnung wird die Leistungsfähigkeit von Systemkomponenten an ihr gemessen. Dabei ist bemerkenswert, dass sich die Grundanforderungen kaum, das Maß der zugelassenen Durchlässigkeit gar nicht verändert haben. Letztlich kann die bereits mit der TA Abfall bzw. der TA Siedlungsabfall deponieklassenabhängig festgelegte Permeationsspezifikation als nach wie vor gültige Regel angesehen werden, an der sich andere, bisher als alternativ bezeichnete Dichtungselemente, messen lassen müssen.

Es hat im Gefolge der genannten Technischen Anleitungen bis zur Schaffung der nunmehr gültigen genannten Rechtsvorschrift zahlreiche Unternehmungen seitens des Bundes und der Länder gegeben, für Derivate oder grundlegend andere Spielarten für Oberflächenabdichtungssysteme Regeln aufzustellen, anhand derer jene bewertet und damit genehmigungsfähig gemacht werden können.

Zuletzt hat die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ allgemeine und elementkonkrete Grundsatzpapiere erarbeitet, die dazu beitragen sollen, ländereinheitliche und damit verlässliche Anwendungen möglich zu machen. Es darf angenommen werden, dass die Ergebnisse dieser AG auch mit Inkrafttreten der Deponievereinfachungsverordnung weiterhin Bestand haben werden. Damit bleiben aber auch jene Fragen im Fokus, die sich der Dauerhaftigkeit bzw. Langzeitwirksamkeit der Abdichtungssysteme befassen. Eine dieser Fragen ist die Aufrechterhaltung der installierten Dichtigkeit.

Der nachfolgende Beitrag beschäftigt nun sich weniger mit der vielfach in der Fachwelt teilweise auch kontrovers erörterten Problematik des Verlustes oder der nachhaltigen Verschlechterung der Dichtigkeit mineralischer Abdichtungskomponenten im weitesten Sinn bei Austrocknung derselben infolge mangelndem Wassernachschub aus der Rekultivierungsschicht bei Trockenheit und in Verbindung mit der über der Dichtung anzuordnenden Drainageschicht. Es wird vielmehr untersucht, wie sich eine technische Lösung, die die Austrocknung von mineralischen Dichtungsschichten zumindest über eine deutlich längere Zeit verhindern kann, auf das Permeationsverhalten derselben auswirkt. Hintergrund ist, dass in der Rechtsvorschrift bzw. in den Richtlinien der LAGA Ad-hoc-AG Parameter für zulässige oder einzuhaltende Wasserdurchlässigkeitswerte bzw. abgeleitete Größen angegeben werden.

So ist mit einer Wasserspeicherschicht über einer mineralischen Dichtungsschicht stets ein gewisser, über längere Zeiträume wirkender Wasseraufstau verbunden, der damit auch länger für ein hydraulisches

* Dipl.-Ing. Clemens Borrmann, JENA-GEOS-Ingenieurbüro GmbH, Saalbahnhofstraße 25 c, 07743 Jena, Tel.: 03641-4535-0, E-Mail: borrmann@jena-geos.de

Gefälle in der Dichtung sorgt. Es ist leicht einzusehen, dass gegenüber einem System mit direkt auf der Dichtung aufgebrachter Drainageschicht die Durchsickerungsrate höher ausfällt.

Anhand numerischer Simulationen des Wasserhaushalts mittels des in der Planung von Oberflächenabdichtungen eingeführten Programms *HELP Berger, K. (2004)* werden mit Daten eines konkreten Deponiestandorts mehrere Varianten mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme mit Tondichtung bzw. Bentonitmatte einem Performancevergleich unterzogen. Es wird untersucht, in welcher Weise eine Wasserspeicherschicht die Wasserdurchlässigkeit des Systems beeinflusst. Hintergrund ist die in *LAGA Ad-hoc-AG (2009)* geforderte Anordnung einer Wasserspeicherschicht über einer Bentonitmatte als Schutz vor Austrocknung derselben, eine Besonderheit, die bei anderen, mineralische Substrate enthaltenden Abdichtungselementen in dieser Form nicht zu finden ist, nach Auffassung des Autors jedoch auch dort bedenkenswert wäre. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die diesem Beitrag zugrunde liegende Planungsaufgabe an einem seit mehreren Jahren geschlossenen Abschnitt einer Hausmülldeponie möglichst noch vor Inkrafttreten der Deponievereinfachungsverordnung zu einer Genehmigung führen sollte, tatsächlich jedoch noch auf der TA Siedlungsabfall fußt. Eine vorhandene, leistungsfähige temporäre mineralische Dichtung sollte zusammen mit einer qualifizierten Rekultivierungsschicht zur endgültigen Oberflächenabdichtung aufgewertet werden.

2. Objekt- und Datenbeschreibung

Die als Demonstrationsbeispiel gewählte Deponie befindet sich im mitteldeutschen Raum, aber außerhalb des für geringe Niederschläge bekannten Regenschattengebietes des Harzes. Der mittlere Niederschlag liegt im Bereich des für Wasserhaushaltsschichten oft genannten Grenzbereichs von 650 mm/a.

Es wurden Wetterdaten für einen 10-jährigen Beobachtungszeitraum verwendet, die vom DWD bereitgestellt wurden. In diesem Zeitraum waren trockene, aber auch extrem nasse Jahre zu verzeichnen.

2.1 Geometrie

Für die Berechnung des möglichen Oberflächen- und Drainageabflusses wurde unter Annahme eines 100 %igen Flächenablaufs eine Neigung von 5,7 % bei einer Entwässerungslänge von 145 m ermittelt.

2.2 Systemaufbau und Varianten

2.2.1 Grundmodell (GM)

Das „Grundmodell“ entspricht dem für den Standort aus der temporären Abdeckung entwickelten endgültigen Oberflächenabdichtung (Trenn- und Filtervliese nicht genannt):

- Rekultivierungsschicht, 150 cm, davon 10 cm mittel humos, 20 cm schwach humos und 120 cm humusfrei – bei allen Varianten unverändert
- Drainageschicht (Kies) 20 cm
- Wasserspeicherschicht (Sand) 10 cm
- Vorhandene mineralische Dichtung 50 cm, $k_f=3,1E-10$ m/s

2.2.2 Standardmodell (DepV)

Der Aufbau wurde entsprechend der Deponievereinfachungsverordnung, Anhang 1 Tabelle 2, Fußnote 6 (mit einer Wasserhaushaltsschicht für die zweite Abdichtungskomponente) gewählt und entspricht im Wesentlichen demjenigen nach DepV bzw. TASI.

- Rekultivierungsschicht, 150 cm
- Drainageschicht 30 cm
- Mineralische Dichtung 50 cm, $k_f=5E-09$ m/s

2.2.3 Variation Grundmodell ohne Drainage (GmoD)

Um als Vergleich einen hohen hydraulischen Gradienten in der Dichtung zu provozieren, wurde in der Variante GmoD die Drainageschicht weggelassen.

- Rekultivierungsschicht, 150 cm
- Vorhandene mineralische Dichtung 50 cm, $k_f=3,1E-10$ m/s

2.2.4 Modifiziertes Standardmodell (DVmd)

Gegenüber dem Standardmodell DepV wurde über der mineralischen Dichtung eine Wasserspeicherschicht angeordnet. Die Variante unterscheidet sich von dem Grundmodell GM dadurch, dass hier die Solldurchlässigkeit für eine mineralische Dichtungsschicht angenommen wurde.

- Wasserhaushaltsschicht, 150 cm
- Drainageschicht 30 cm
- Wasserspeicherschicht 10 cm
- Mineralische Dichtung 50 cm, $k_f=5E-09$ m/s

2.2.5 Grundmodell mit Bentonitmatte (BM)

Die mineralische Dichtung aus dem Grundmodell bzw. modifizierten Standardmodell wurde durch eine Bentonitmatte ersetzt. Die Anordnung einer Wasserspeicherschicht ist obligatorisch. Die Abminderungsfaktoren bezüglich der Permittivität wurden berücksichtigt.

- Wasserhaushaltsschicht, 150 cm
- Drainageschicht 20 cm
- Wasserspeicherschicht 10 cm
- Bentonitmatte (Parameter siehe Abschnitt 2.7)

2.3 Niederschlagsdaten

Die jahresdurchschnittlichen Niederschlagsdaten vom DWD sind in Abb. 1, die Monatsmittelwerte in Abb. 2 dargestellt.

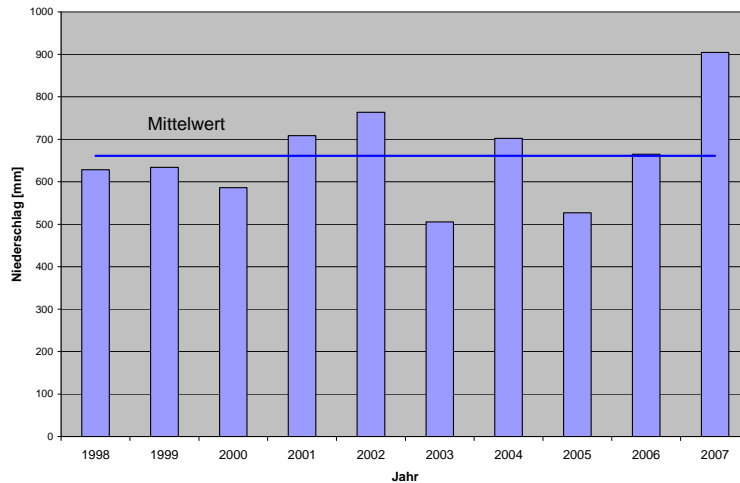


Abb. 1: Jahresdurchschnittliche Niederschlagsmengen für die Jahre 1998 – 2007

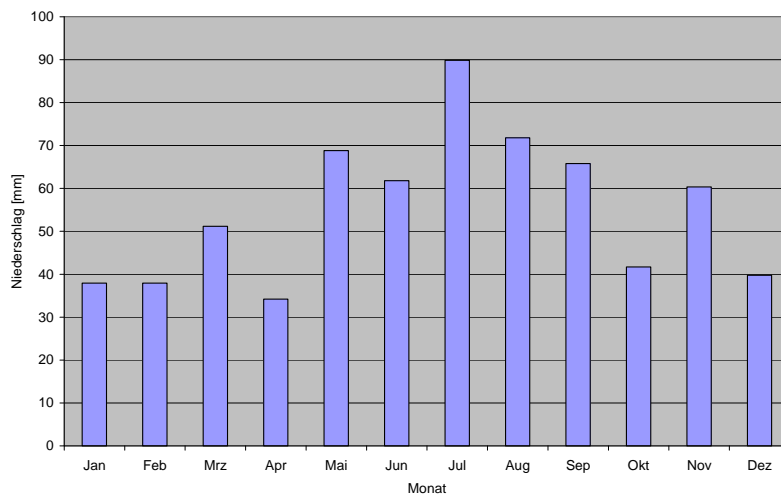


Abb. 2: Monatsdurchschnittliche Niederschlagsmengen für die Jahre 1998 - 2007

2.4 Temperaturdaten

Aus den Temperaturdaten ergibt sich eine mittlere Jahrestemperatur von 8,9°C.

2.5 Evapotranspiration

Die potentielle Evapotranspiration wird im HELP-Modell in einem täglichen Zeitintervall berechnet. Als meteorologische Eingangsparameter werden die Tageswerte der Lufttemperatur und der Globalstrahlung sowie die Quartalsmittelwerte der relativen Luftfeuchte und der Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit vom DWD verwendet.

Die relative Luftfeuchtigkeit beträgt:

| | I. Quartal | II. Quartal | III. Quartal | IV. Quartal |
|------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| Mittelwert | 74,5 | 66,9 | 70,4 | 79,9 |

Die auf 2 m über Grund bezogene Windgeschwindigkeit beträgt 10,5 km/h.

Ausgehend von der potentiellen Evapotranspiration wird die tatsächliche Evapotranspiration (bewachsene Flächen) bzw. tatsächliche Evaporation (unbewachsene Flächen) in Abhängigkeit von der simulierten Bodenfeuchte im verdunstungsbeeinflussten Bodenbereich berechnet.

2.6 Pflanzenspezifische Parameter

Als pflanzenspezifische Parameter lassen sich der Blattflächenindex, die mit der Bewuchsausbildung verbundene Verdunstungseinflusstiefe und die Vegetationsperiode angeben. Die beiden ersten Parameter wurden zwischen 0 und 15 variiert:

LAI 0: Kein Bewuchs
 LAI 5: satter Rasenbewuchs
 LAI 10: Sträucher
 LAI 15: Bäume

Die Vegetationsperiode wurde entsprechend der Empfehlung, die im Programm HELP implementiert sind, wie folgt festgelegt:

Vegetationsbeginn: Tag 121

Vegetationsende: Tag 291

2.7 Bodenkennwerte

Anhand einer Untersuchung zu regional potenziell verfügbaren Böden wurde eine Auswahl getroffen, die hinsichtlich ihres Spektrums bodenkundlicher Parameter die möglichen akquirierbaren Bodenarten repräsentieren, wobei auch ein Skelettanteil bis 10 % und in den Oberböden ein Humusgehalt berücksichtigt wurde (siehe Tab. 1). Es wurde angenommen, dass sich bei einem lockeren Einbau letztlich eine mittlere Lagerungsdichte einstellen wird.

Tab. 1: Bodenkundliche Parameter regional verfügbarer Böden, Lagerungsdichte Ld3

| Bodenart | Kürzel | Porenvolumen PV | Feldkapazität FK | nutzbare Feldkapazität nFK | permanenter Welkepunkt WP | gesättigte Wasserleitfähigkeit kf [cm/s] |
|-----------------------------|--------|-----------------|------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| stark sandiger Lehm | Ls4 | 0,430 | 0,320 | 0,160 | 0,160 | 3,82E-4 |
| Schwach toniger Sand | St2 | 0,330 | 0,180 | 0,130 | 0,050 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff | Ut3 | 0,440 | 0,370 | 0,250 | 0,120 | 1,16E-04 |
| | | | | | | |
| stark sandiger Lehm, h2 | Ls4 | 0,480 | 0,360 | 0,200 | 0,160 | 3,82E-04 |
| Schwach toniger Sand, h2 | St2 | 0,380 | 0,230 | 0,180 | 0,050 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff, h2 | Ut3 | 0,480 | 0,390 | 0,270 | 0,120 | 1,16E-04 |
| | | | | | | |
| stark sandiger Lehm, h4 | Ls4 | 0,580 | 0,440 | 0,280 | 0,160 | 3,82E-04 |
| Schwach toniger Sand, h4 | St2 | 0,480 | 0,290 | 0,240 | 0,050 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff, h4 | Ut3 | 0,580 | 0,450 | 0,330 | 0,120 | 1,16E-04 |
| | | | | | | |
| stark sandiger Lehm, Sk5 | Ls4 | 0,409 | 0,304 | 0,152 | 0,152 | 3,82E-04 |
| Schwach toniger Sand, Sk5 | St2 | 0,314 | 0,171 | 0,123 | 0,048 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff, Sk5 | Ut3 | 0,418 | 0,352 | 0,238 | 0,114 | 1,16E-04 |
| | | | | | | |

| Bodenart | Kürzel | Poren- volumen PV | Feld- kapazi- tät FK | nutzbare Feld- kapazität nFK | perma- nenter Welkepunkt WP | gesättigte Wasserleit- fähigkeit kf [cm/s] |
|---------------------------------|--------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| stark sandiger Lehm, Sk10 | Ls4 | 0,387 | 0,288 | 0,144 | 0,144 | 3,82E-04 |
| Schwach toniger Sand, Sk10 | St2 | 0,297 | 0,162 | 0,117 | 0,045 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff, Sk10 | Ut3 | 0,396 | 0,333 | 0,225 | 0,108 | 1,16E-04 |
| stark sandiger Lehm, h2, Sk5 | Ls4 | 0,456 | 0,342 | 0,190 | 0,152 | 3,82E-04 |
| Schwach toniger Sand, h2, Sk5 | St2 | 0,361 | 0,219 | 0,171 | 0,048 | 1,09E-03 |
| Mittel toniger Schluff, h2, Sk5 | Ut3 | 0,456 | 0,371 | 0,257 | 0,114 | 1,16E-04 |

Kein Suffix: ohne Humusgehalt

h2: schwach humos 1 bis 2%

h4: stark humos 4 bis 10%

Sk: Skelettanteil [%] (Bodenmaterialien >2mm)

Tab. 2: *Bodenkundliche Parameter anderer, im Oberflächenabdichtungssystem verwendeter Materialien oder Komponenten*

| Element | Poren- volumen PV | Feld- kapazität FK | nutzbare Feld- kapazität nFK | perma- nenter Welkepunkt WP | gesättigte Wasserleit- fähigkeit kf [cm/s] |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Kies-/Schotterdrainageschicht | 0,320 | 0,050 | 0,030 | 0,020 | 2,00 E-1 |
| Speicherschicht (Sand) | 0,457 | 0,083 | 0,050 | 0,033 | 3,10 E-03 |
| mineralische Dichtung (DKII) | 0,385 | 0,345 | 0,245 | 0,1 | 5,00 E-07 |
| mineralische Dichtung (Standort) | 0,43 | 0,33 | 0,105 | 0,005 | 3,10 E-08 |
| Bentonitmatte (4000 g) ¹ | 0,52 | 0,45 | 0,09 | 0,36 | 1,60 E-08 |

Tab. 2 beschreibt die bodenkundlichen Parameter für die übrigen Materialien in den Varianten des Oberflächenabdichtungssystems.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Wasserhaushaltsberechnungen wurden mit den beschriebenen Varianten des Aufbaus eines Oberflächenabdichtungssystems vorgenommen. Aus der Gesamtheit aller vorgenommenen Untersuchungen soll hier eine repräsentative Auswahl vorgestellt werden. Die genannten Bodenarten jeweils ohne Skelettanteil werden unter der Annahme eines hochwertigen Bewuchses (Blattflächenindex 10) gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt.

Als Vergleichsmaßstab für die Bewertung und den Vergleich ist das Standardmodell DepV heranzuziehen. Der Aufbau entspricht dem Regelaufbau. Die Systemdurchlässigkeit bewegt sich zwischen 10 mm und 25 mm pro Jahr. Gemäß Deponievereinfachungsverordnung wäre eine Schranke von 20 mm/a zu beachten. Das bedeutet, dass unter den gegebenen klimatischen Standortbedingungen das Bodenarten-

¹ am Beispiel: LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“: Eignungsbeurteilung von Bentofix® B 4000 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien, 27.01.2009

spektrum nur eingeschränkt verwendbar wäre. Bei einem entsprechenden Skelettanteil wird die Leistungsgrenze schnell erreicht.

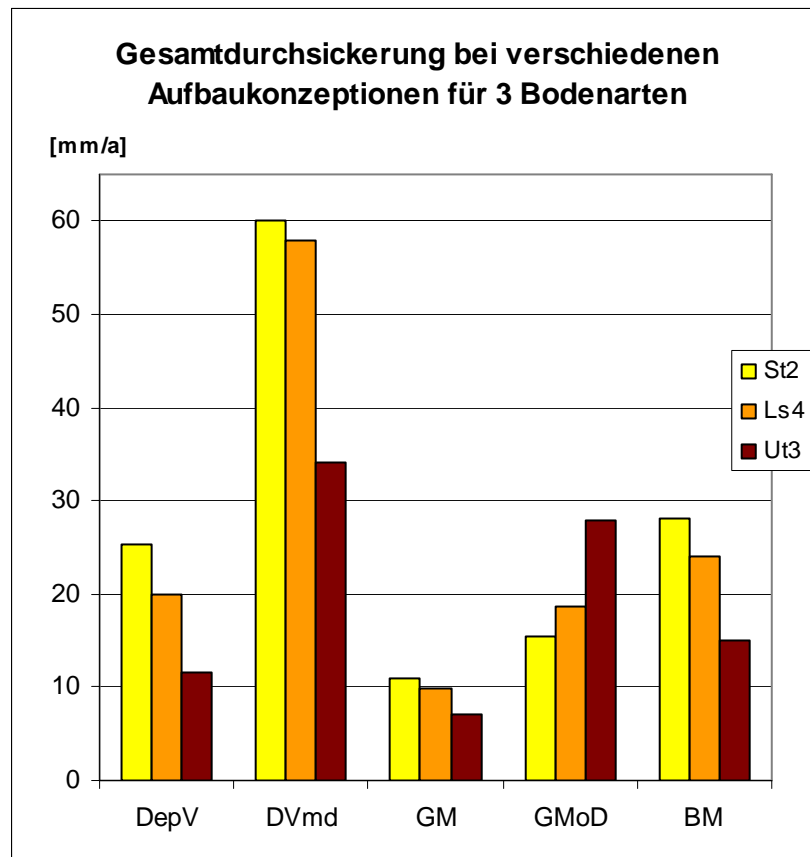


Abb. 3: Mittlere jährliche Permatationsraten für verschiedene Varianten eines Oberflächenabdichtungssystems

Dank der deutlich günstigeren Ausgangswerte für die im Beispiel tatsächlich vorhandene temporäre Oberflächenabdeckung (Grundmodell) konnte im Rahmen des Genehmigungsantrags gezeigt werden, dass sie mittels Aufbringen einer qualifizierten Rekultivierungsschicht und zwischengeschalteter Drainageschicht zu einer endgültigen Oberflächenabdichtung aufgewertet werden kann. Trotz zwischengeschalteter Wasserspeicherschicht bewegen sich die Durchsickerungsraten bis zu 50 % unter denjenigen des Standardmodells.

Selbst bei einem Weglassen der Drainageschicht entspricht die Systemleistung noch derjenigen des Standardmodells. Allerdings haben die Untersuchungen gezeigt, dass es dann zu länger dauernden Perioden eines deutlich bis in die Rekultivierungsschicht reichenden Wassereinstaus kommt, was der Bodenqualität zuwider läuft und kontraproduktiv zum angestrebten Begrünungsziel ist.

Oben wurde angesprochen, dass es auch für Dichtungen aus Ton zum Schutz gegen Austrocknung wünschenswert wäre, auf ihnen eine Wasserspeicherschicht aufzubringen. Die Untersuchung am modifizierten Standardmodell zeigen jedoch, dass die Oberflächenabdichtung dann nicht mehr den Zielwert der mittleren Durchsickerung (20 mm/a) zu erreichen in der Lage ist.

Überraschend gut schneidet die Bentonitmatte in Vergleich zum Standardmodell ab. Trotz der Wasserspeicherschicht, die einen hydraulischen Gradienten erzeugt, der deutlich über dem des Standardmodells

liegt, liegt die Leistungsfähigkeit der Abdichtung mit Bentonitmatte im Bereich derjenigen des Standardmodells. Damit ist die Bentonitmatte eine Alternative zur mineralischen Standarddichtung.

Hier bildlich nicht dargestellt sind Berechnungsergebnisse für eine Bentonitmattendichtung unter Verwendung des charakteristischen Permittivitätsparameters, also ohne Berücksichtigung der Abminderungsfaktoren gemäß Eignungsbeurteilung. Die Durchsickerung läge bei 50 % gegenüber dem Grundmodell, also bei ca. 25 % des Standardmodells (DepV).

4. Bewertung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Ausbildung einer Oberflächenabdichtung aus einer normentsprechenden mineralischen Dichtung in Verbindung mit einer nach Wasserhaushaltsgrundsätzen bemessenen Rekultivierungsschicht den Anforderungen der Deponievereinfachungsverordnung genügt. Das trifft nicht mehr zu, wenn man gleichzeitig eine Wasserspeicherschicht zum Schutz vor Austrocknung integriert. Hier wäre es erforderlich, die Permittivität der mineralischen Dichtung entsprechend zu verringern.

Bentonitmatten stellen eine leistungsfähige Alternative zu mineralischen Dichtungen aus Ton dar.

Vom Autor wird das System der Sicherung gegen Austrocknung durch Aufbringen einer Wasserspeicherschicht regelmäßig empfohlen. Aufgrabungen an ausgeführten Objekten haben gezeigt, dass diese Lösung geeignet ist, die Gebrauchstauglichkeit von Oberflächenabdichtungen zu erhalten (Siegmond, M. et al. (2001) Terra Montan (2006)).

5. Literatur

Siegmond, M. et al. (2001): Calcium-Bentonitmatten unter Feuchtigkeitsänderungen, Sonderdruck 7. Informations- und Vortragsveranstaltung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, München, März 2001

Terra Montan (2006): Untersuchungen zum Langzeitverhalten der Oberflächenabdichtung Deponie Geisenhöhn, Suhl, 2006 (unveröffentlichter Prüfbericht)

LAGA Ad-hoc-AG (2009): „Deponietechnische Vollzugsfragen“ (2009): Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien „Bentonitmattegrundsätze“, Eigenverlag, LAGA, 2009

Berger, K. (2004): Hydrologic Evaluation of Landfill Performance HELP 3.80 D, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, 2004