

## **M      Versickerungsmessungen des Niederschlags aus Rekultivierungsschichten**

Dr. Ing. Norbert Markwardt, Berlin

Dipl.-Ing. Werner Brücklmeier/Dipl.-Ing. Steffen Raabe,  
Neu Fahrland

## 1.0 Einleitung

Die Märkische Entsorgungsanlagen Betriebsgesellschaft mbH (MEAB) betreibt seit 1974 im Land Brandenburg zwei Siedlungsabfalldeponien, eine Bauschutt- und eine Sonderabfalldeponie mit einer Gesamtdeponieoberfläche von ca. 450 ha.

Entsprechend der seit dem 01.03.2001 geltenden „Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen“ steht die MEAB mbH wie viele andere Deponiebetreiber in der Pflicht, ihre Deponien bzw. Teilbereiche der Deponien entsprechend dem Stand der Technik anzupassen und/oder den geregelten Abschluss der Deponien zu planen.

In Vorbereitung der Sicherung ihrer 4 Großdeponien durch ein endgültiges Oberflächenabdichtungssystem wurden von der MEAB mbH Versuchsfelder für die „In-situ-Untersuchung“ ausgewählter Abdichtungssysteme am Standort der Deponie Deetz errichtet. Schwerpunkt der Versuchsfelduntersuchung liegt in der Erfassung der Niederschläge, der Entwässerungsschichtabflüsse und der Dichtschichtdurchsickerungen. Die Daten bilden die Grundlage für die Abschätzung der Dichtungswirkung der alternativen mineralischen Dichtungsschichten im Gesamtabdichtungssystem.

In Ergänzung zu diesen Versuchsfelduntersuchungen erfolgen an der wägbaren Lysimeteranlage in Berlin-Dahlem Lysimeteruntersuchungen in Bezug auf die Auswirkungen einer veränderten Zusammensetzung von Rekultivierungsschichten auf die Dränageschicht und das darunter liegende Dichtungssystem.

Vor dem Hintergrund der regional beschränkten Verfügbarkeit von geeigneten Böden werden **dabei** in Zusammenarbeit mit der pedo tec GmbH im Rahmen des Forschungsvorhabens "Lysimeteruntersuchungen und Wasserhaushaltsberechnungen zur Kostenreduzierung bei der Herstellung von Rekultivierungsschichten für die Deponiestandorte der MEAB unter Einbeziehung von Sekundärbaustoffen" Wasserhaushalts- und Stoffhaushaltsmessungen an wägbaren Lysimetern und Wasserhaushaltsberechnungen mit dem HELP-Modell (Version Markwardt) durchgeführt.

In einem der 4 Lysimeter wurde der Aufbau der Rekultivierungsschicht entsprechend dem der Versuchsfelder der Deponie Deetz gewählt. Damit bietet sich die Möglichkeit, die Ergebnisse der anderen Lysimeter mit modifiziertem Aufbau der Rekultivierungsschichten direkt auf die Bedingungen der Versuchsfelder zu übertragen.

An der o.g. Lysimeteranlage erfolgen die Messungen der Wasserhaushaltskomponenten: Niederschlag, aktuelle/reale Verdunstung (Evapotranspiration), Änderung der Bodenfeuchte in den Lysimetern und Versickerung des Niederschlagswassers aus den Lysimetern kontinuierlich registrierend mit hoher zeitlicher Auflösung auf der Basis von 15-Minuten-Werten.

Im Zusammenhang mit der Entwässerungsplanung von Deponien werden im Bundesland Brandenburg üblicherweise Bemessungsniederschläge in der gleichen zeitlichen Auflösung (15-minütige Starkregenereignisse - ortsspezifische Regenspenden) mit entsprechenden Wiederkehrintervallen (z.B.  $n = 0,2$ : 15-minütiges Regenereignis, dass einmal in 5 Jahren stattfindet) als Grundlage für die Dimensionierung der Entwässerungsanlagen zur Fassung des Oberflächenabflusses und des Dränschichtabflusses verwendet.

Die Versickerungsmessungen des Niederschlagswassers aus den Lysimetern besitzen damit die gleiche zeitliche Auflösung, mit der z.B. die Dränspende in Abhängigkeit von dem vorgegebenen Starkregenereignis für die Dimensionierung der Dränschichten von Oberflächenabdichtungssystemen gemäß den Vorgaben des Landesumweltamt Brandenburgs anzusetzen ist.

Im Rahmen dieses Beitrags werden die Ergebnisse der durchgeführten Versickerungsmessungen des bisherigen 2-jährigen Untersuchungszeitraums insbesondere auch für außergewöhnlich hohe Starkregenereignisse/Dränspenden dargestellt und im Vergleich zu den gängigen Bemessungsansätzen bewertet.

Auf der Grundlage der bisherigen Ergebnisse werden Hinweise für die hydraulische Bemessung von Dränschichten gegeben, die aufgrund der großen Deponieoberflächen der MEAB einen deutlichen Beitrag zur Kostenminimierung bei der Entwässerungsplanung liefern können.

## **2.0 Derzeitige Bemessungsansätze**

Für die Ermittlung der Dränspende in die Entwässerungsschicht eines Oberflächenabdichtungssystems wird zunächst auf die GDA-Empfehlung E 2-20 (1997) hingewiesen. Gemäß der E 2-20 ist bei Böden mit einer hohen nutzbaren Feldkapazität eine starke Dämpfung der Versickerung des Niederschlagswassers aus der Rekultivierungsschicht sowohl in der Jahressumme als auch bei den Tagessummen zu erwarten. Im Unterschied dazu wird bei nicht bindigen Rekultivierungsschichten sowohl in der Jahressumme als auch bei den Tagesspitzenwerten von deutlich höheren Dränspenden ausgegangen. In der E 2-20 wird als Bemessungs-

sungsgrundlage für sandige Böden ein Tagessummenwert der Versickerung (Dränspende) von 25 mm/d und für bindige Böden ein Wert von 10 mm/d empfohlen.

Diese Dränspenden werden häufig zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Drän-schichten (mineralische Dränschichten oder Dränmatten) im Rahmen von Wirksamkeits-nachweisen angenommen.

Unter Berücksichtigung der Neigung (n), der Entwässerungslänge (l), der horizontalen Durchlässigkeit ( $k_h$ ) und der Dicke der Entwässerungsschicht wird nachfolgend exemplarisch die Wasserableitkapazität ermittelt:

$$Q = 25 \text{ mm/d}; n = 20\% (i = 1:5), l = 50 \text{ m}, k_h = 1 \times 10^{-03} \text{ m/s}, d = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{vorh. } q = k \times i = 1 \times 10^{-03} \text{ m/s} \times 0,196 \times 0,3 \text{ m} = \underline{0,059 \text{ (l/s*m)}}$$

Die erforderliche Ableitkapazität je laufenden Meter Austrittsfläche ist:

$$\text{erf. } Q = 25 \text{ (l/m}^2 \cdot \text{d)} \times 50 \text{ m} = \underline{0,014 \text{ (l/s*m)}}$$

Die erforderliche Wasserableitkapazität wird somit um das 4,2-fache überschritten. Die Umrechnung der täglichen Dränspende (Tagessummenwert) in die sekundliche Dränspende erfolgt durch einfache Division mit dem Faktor 86400 (24 h = 86400 sec).

Im Bundesland Brandenburg wird in der Regel im Zusammenhang mit der Entwässerungsplanung von Oberflächenabdichtungssystemen die Versickerung aus der Rekultivierungsschicht (Dränspende) als prozentualer Anteil eines Starkregenereignisses gemäß den Vorgaben des Landesumweltamts (LUA) ermittelt (Spitzenabflussbeiwert):

$$\emptyset = q \text{ [l/(s*ha)]} / r \text{ [l/(s*ha)]}$$

$$q \text{ [l/(s*ha)]} = \text{Dränspende}$$

$$r \text{ [l/(s*ha)]} = \text{ortspezifische Regenspende}$$

Nachfolgend wird das generelle Vorgehen zur Ermittlung der Dränspende im Zusammenhang mit der Entwässerungsplanung kurz dargestellt:

- 1.) Ermittlung der ortsspezifischen Regenspende
- 2.) Ermittlung der Häufigkeit des Starkregens (ggf. Vorgabe der Genehmigungsbehörde)
- 3.) Spitzenabflussbeiwert (Dränspende) gemäß Vorgaben der Genehmigungsbehörde (in Abhängigkeit von der Neigung i.d.R. 0,20 -0,30)

Am Beispiel einer 10 ha großen Deponie wird die Quantifizierung der Dränspende gemäß dem o.g. Ansatz deutlich gemacht.

ortsspezifische Regenspende:	$n = 1$	$q_{r15 (n=1)} = 115 \text{ l/(s x ha)}$
gewählte Regenhäufigkeit	$n = 1/a$	1,0
Zeitbeiwert für r 15 (1,0)	$\ddot{o} =$	1,000 [l]
Regenspende für r 15 (1,0)	$q_{r15 (n=1,0)}$	115,0 l/(s x ha)

Deponiefläche:	$AE = 10,0 \text{ ha}$
Spitzenabflussbeiwert	$\emptyset = 0,25 \text{ (Mittelwert)}$

Die zu entwässernde Menge der rechnerischen Dränspende beträgt:

$$Q = AE \times q_{r15 (n=1)} \times \ddot{o} \times \emptyset = 10,0 \text{ ha} \times 115 \text{ l/(s x ha)} \times 1,000 \times 0,25 = \mathbf{287,5 \text{ l/s}}$$

Demgegenüber stehen in situ Messungen an der wägbaren Lysimeteranlage in Berlin-Dahlem.

In den nachfolgenden Abschnitten werden zunächst die Ergebnisse der Versickerungsmessungen des Niederschlagswassers aus der Rekultivierungsschicht, die die MEAB als Bestandteil der Oberflächenabdichtungssysteme zur Sicherung ihrer Deponien favorisiert, sowohl für langfristige Zeiträume (Monate, Jahre) als auch auf der Basis von 15-Minuten-Werten dargestellt. Im Anschluss daran erfolgt eine Bewertung der o.g. Bemessungsansätze und auf der Grundlage neuer Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben werden Hinweise zur Optimierung der hydraulischen Bemessung von Dränschichten gegeben.

### 3.0 Lysimeteranlage Berlin-Dahlem

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgen die Messungen des Wasserhaushalts (Niederschlag, Verdunstung, Änderung der Bodenfeuchte und Versickerung des Niederschlagswassers aus der Rekultivierungsschicht) an wägbaren Lysimetern der Lysimeteranlage des Fachgebiets Wasserhaushalt und Kulturtechnik der TU-Berlin.

Lysimeter sind in der Regel zylindrische Gefäße (standardmäßig 1 m<sup>2</sup> groß und 1,50 m tief), die mit Boden gefüllt sind. Zur Messung des Bodenwasserhaushalts unter natürlichen Witterungsbedingungen werden sie im Gelände so eingebaut, dass die Lysimeteroberfläche der umgebenden Geländeoberfläche entspricht.

Die Abb. 1 zeigt die Lysimeteranlage (Lysimeteroberfläche) einschließlich der nahgelegenen Wetterstation.



**Abb. 1:** Lysimeteranlage Berlin-Dahlem (Lysimeteroberfläche)

Das kontinuierlich registrierende Wägesystem eines Lysimeters besteht aus einer Kombination von einer stationären Brückenwaage und einer Laborwaage.

Die Abb. 2 zeigt die komplette Wägeeinrichtung für ein Lysimeter.



**Abb. 2:** Wägeeinrichtung eines Lysimeters

Die stationären Brückenwaagen stehen auf einem Betonsockel im Lysimeterkeller und sind höhenmäßig so konstruiert, dass die darauf stehenden 1,50 m hohen Lysimeter niveaugleich mit der Geländeoberkante abschließen. Die Brückenwaagen bestehen aus einer massiven Stahlrahmenkonstruktion und dienen zunächst zur Aufnahme des Gesamtgewichts der mit den unterschiedlichen Materialien gefüllten Lysimeter.

Zur kontinuierlichen Erfassung des Lysimetergewichts ist die Laborwaage (600,0 g/ 0,1 g) so aufgestellt, dass der Wägebalken der stationären Brückenwaage über eine starre Verbindung auf diese Waage drückt. Letztere ist mit einer seriellen Schnittstelle ausgerüstet und an einen Datenlogger angeschlossen, so dass eine kontinuierliche Registrierung auf der Basis von 15-Minuten-Intervallen mit einer Auflösung von 100 g (= 0,1 mm Niederschlag bei der Oberfläche des Lysimeters von 1 m<sup>2</sup>) vorhanden ist.

Es erfolgt eine tägliche Ablesung der Lysimetergewichte für die Ermittlung von Tagessummenwerten der Versickerung, der aktuellen Verdunstung und der Änderung der Bodenfeuchte. Für ausgewählte Ereignisse (z.B. Starkniederschläge und/oder hohe Versickerung) stehen die Ergebnisse auch als 15-Minuten-Werte zur Verfügung.

In der Abb. 2 ist eine zweite Waage unter dem Lysimeter zu erkennen, die zur kontinuierlichen Messung der Versickerung (Perkolat) des Niederschlagswassers aus dem Lysimeter dient. Bei dieser Waage handelt es sich um eine Industriewaage mit einer maximalen Wägekapaazität von 64 kg bei einer Auflösung von 5 g.

Durch die gleichzeitige Messung des Niederschlags, des Lysimetergewichts und der Versickerung werden somit alle Wasserhaushaltskomponenten gemessen, die für eine vollständige Bilanzierung notwendig sind.

Die kontinuierliche Erfassung der Klimaparameter erfolgt sowohl manuell (Niederschlags-sammler) als auch mit automatisch registrierenden Aufnahmegegeräten in derselben zeitlichen Auflösung wie die der Lysimeterdaten. Die Wetterstation befindet sich direkt neben der Lysimeterstation.

Die folgenden Parameter werden in 15-Minuten-Intervallen gemessen: Niederschlag am Boden und in 1 m Höhe, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit in 1 und 2 m Höhe.

### **3.1 Einbau der 4 Lysimetervarianten in die Lysimeteranlage Berlin-Dahlem**

In dem Zeitraum von Oktober bis November 2001 wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens 4 Lysimeter (M 1 - M 4) der Lysimeteranlage in Berlin-Dahlem mit unterschiedlichen Materialien für Rekultivierungsschichten befüllt.



Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf das Lysimeter M 1.

Die Schichtdicke der Rekultivierungsschicht beträgt 1,0 m. Bei der Variante M 1 wurden den oberen 30 cm des Bodens 10 Vol.-% Klärschlammkompost zugemischt. Die unteren 70 cm bestehen aus einem sandigen Boden (Siebboden) mit geringem Wasserspeichervermögen. Das eingebaute Material wurde bodenkundlich und bodenchemisch untersucht.

Oberhalb der Lysimetersohle ist in einer Schichtdicke von 50 cm der Dränkies (Körnung 4/8 mm) eingebaut worden, der von einem Vlies bedeckt ist.

Die Auffüllung der Rekultivierungsschicht erfolgte bis 3-4 cm unter Lysimeteroberkante (nicht niveaugleich), um einen möglichen Oberflächenabfluss von den Lysimetern bei Starkregen auszuschließen.

### 3.2 Ergebnisse des bisherigen Versuchszeitraums 2002 - 2003

In den Tab. 1 und 2 sind die gemessenen Werte der Wasserhaushaltskomponenten Niederschlag, aktuelle (reale) Verdunstung, Versickerung aus der Rekultivierungsschicht (Dränspende) und Bodenfeuchteänderung in der Rekultivierungsschicht auf der Basis von Monats- und als kumulierte Jahressummenwerte dargestellt.

**Tab. 1:** Gemessene Monatssummenwerte des Niederschlags, der Versickerung aus der Rekultivierungsschicht, der aktuellen Verdunstung (Evapotranspiration) und der Bodenfeuchteänderung; (Lysimeter M 1); 2002

Monat	Wasserhaushaltskomponenten							
	Niederschlag (N0m)		Versickerung		aktuelle Verdunstung		Bodenfeuchteänderung	
	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert
01/02	41,0	41,0	50,0	50,0	9,2	9,2	-18,2	-18,2
02/02	92,6	133,6	68,9	118,9	13,3	22,5	10,4	-7,8
03/02	46,7	180,3	38,2	157,1	30,0	52,5	-21,6	-29,4
04/02	47,2	227,5	17,3	174,4	29,5	82,0	0,4	-29,0
05/02	65,3	292,8	10,8	185,2	60,1	142,1	-5,5	-34,5
06/02	45,7	338,5	4,8	190,0	101,8	243,9	-60,9	-95,4
07/02	71,7	410,2	1,8	191,8	103,8	347,7	-33,9	-129,3
08/02	251,6	661,8	69,9	261,7	105,4	453,1	76,4	-52,9
09/02	41,1	702,9	6,3	268,0	58,7	511,8	-23,9	-76,8
10/02	106,0	808,9	36,4	304,4	24,2	536,0	45,4	-31,4
11/02	54,1	863,0	43,9	348,3	7,4	543,4	2,8	-28,6
12/02	17,2	880,2	16,2	364,5	4,4	547,8	-3,5	-32,1

**Tab. 2:** Gemessene Monatssummenwerte des Niederschlags, der Versickerung aus der Rekultivierungsschicht, der aktuellen Verdunstung (Evapotranspiration) und der Bodenfeuchteänderung; (Lysimeter M 1); 2003

Monat	Wasserhaushaltskomponenten							
	Niederschlag (N0m)		Versickerung		aktuelle Verdunstung		Bodenfeuchteänderung	
	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert	(mm)	(mm) kumu- liert
01/03	74,1	74,1	55,2	55,2	5,0	5,0	13,9	13,9
02/03	8,1	82,2	24,2	79,4	6,7	11,7	-22,8	-8,9
03/03	26,2	108,4	15,6	95,0	20,2	31,9	-9,6	-18,5
04/03	22,3	130,7	4,6	99,6	52,6	84,5	-34,9	-53,4
05/03	33,5	164,2	1,2	100,8	84,6	169,1	-52,3	-105,7
06/03	40,6	204,8	0,5	101,3	72,7	241,8	-32,6	-138,3
07/03	55,9	260,7	0,2	101,5	64,9	306,7	-9,2	-147,5
08/03	30,4	291,1	0,0	101,5	28,7	335,4	1,7	-145,8
09/03	35,7	326,8	0,0	101,5	43,5	378,9	-7,8	-153,6
10/03	56,9	383,7	0,0	101,5	19,7	398,6	37,2	-116,4
11/03	38,9	422,6	0,0	101,5	8,0	406,6	30,9	-85,5
12/03	45,4	468,0	1,8	103,3	7,4	414,0	36,2	-49,3

Für den Standort Berlin war das Jahr 2002 extrem niederschlagsreich und das Jahr 2003 außergewöhnlich trocken (langjähriges Mittel ca. 600 mm/a). In der Darstellung der Monatssummenwerte werden die jahreszeitlichen Verteilungen der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten sowie deren Abhängigkeiten untereinander deutlich.

An der Lysimeteranlage in Berlin-Dahlem wurde 2003 ein Jahressummenwert des Niederschlags von 468 mm (am Boden) bzw. 444 mm (in 1 m Höhe) gemessen. Die entsprechenden Werte auf den Versuchsfeldern in Deetz sind 465 mm (am Boden) bzw. 426 mm (in 1 m Höhe) und dokumentieren die vergleichbaren klimatischen Bedingungen.

### 3.3 Wasseraufnahmevermögen des Bodens der Rekultivierungsschicht und Ableitung des Wassers zur Dränschicht

Im Hinblick auf die Dimensionierung der Dränschichten sind die gemessenen 15-minütigen Werte des Niederschlags und der Versickerung aus dem Lysimeter (Rekultivierungsschicht) aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung von großer Bedeutung.

Nachfolgend werden zunächst die grundsätzlichen bodenkundlichen Zusammenhänge kurz erläutert und im Anschluss daran erfolgt die Darstellung und Bewertung von ausgewählten Zeiträumen mit hohen Niederschlägen bzw. Versickerungen (Dränspenden).

### 3.3.1 Beschreibung der bodenkundlichen Zusammenhänge

Die Quantifizierung des Wasserspeichervermögens in der ungesättigten Bodenzone (z.B. Rekultivierungsschicht) kann gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) folgendermaßen erfasst werden:

Der permanente Welkepunkt PWP eines Bodens ist definitionsgemäß der Wassergehalt, bei dessen Erreichen landwirtschaftliche Kulturen irreversibel zu welken beginnen. Die Feldkapazität FK ist der Wassergehalt, der entgegen der Schwerkraft gehalten werden kann.

Die Differenz der beiden ist die nutzbare Feldkapazität nFK und beeinflusst in Verbindung mit der Durchwurzelungstiefe der vorhandenen Vegetation in erster Linie die Höhe der aktuellen Verdunstung.

Für die in diesem Abschnitt zu beantwortende Fragestellung sind die Bodenfeuchteverhältnisse in der Rekultivierungsschicht oberhalb der Feldkapazität relevant.

Gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) kennzeichnet das Porenvolumen PV den Wassergehalt eines Bodens, bei dem alle Poren wassergesättigt sind.

Die Differenz zwischen dem Porenvolumen und der Feldkapazität wird als Luftkapazität LK bezeichnet und beschreibt das maximale Wasseraufnahmevermögen eines Bodens beim Übergang vom ungesättigten (gerade einsetzende Versickerung bei erdfeuchtem Boden) in den gesättigten Zustand.

Für eine 1m mächtige Rekultivierungsschicht sind nachfolgend die Werte exemplarisch dargestellt:

100 cm Rekultivierungsschicht

Porenvolumen PV:	410 (mm/m)
Feldkapazität FK:	220 (mm/m)
permanente Welkepunkt PWP :	70 (mm/m)

Nach der bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) gelten diese Werte näherungsweise z.B. für einen schwach lehmigen Sand (Sl2) mit mittlerer Lagerungsdichte.

Die Luftkapazität ist 190 (mm/m) und die nutzbare Feldkapazität ist 150 (mm/m).

Das bedeutet, dass eine 1 m mächtige Rekultivierungsschicht mit diesem Boden bei dem Übergang von der Feldkapazität bis zur völligen Wasseraufsättigung 190 mm ( $l/m^2$ ) Niederschlagswasser aufnehmen kann.

Dieses maximale Wasseraufnahmevermögen ist allerdings eher eine rechnerische Größe, da bei den ungesättigten Bodenfeuchteverhältnissen im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt in der Rekultivierungsschicht eines Oberflächenabdichtungssystems auch gleichzeitig die ungesättigte vertikale Wasserbewegung in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte stattfindet.

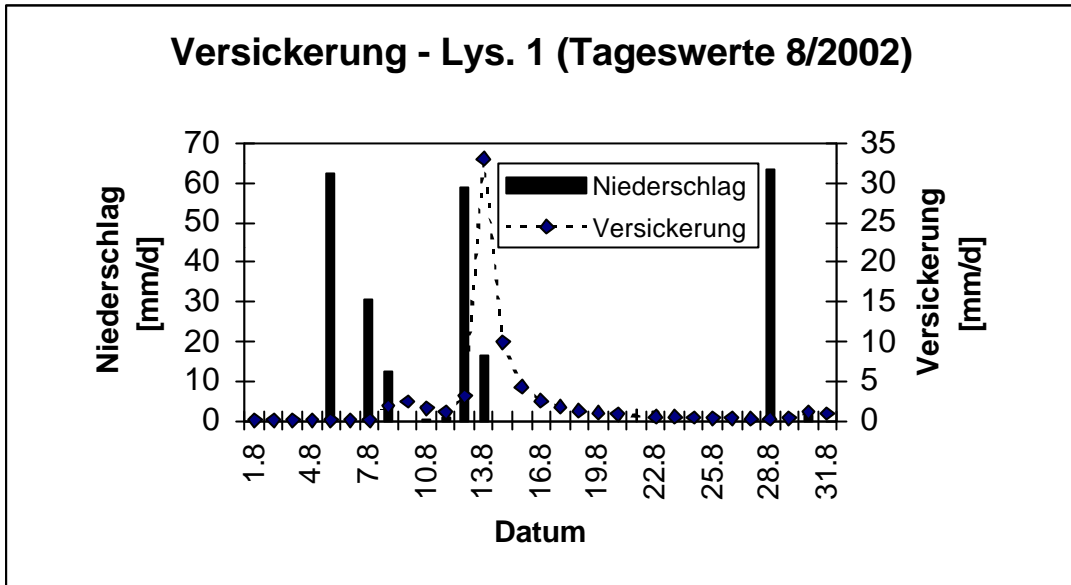
Für eine zuverlässige Ermittlung der Dränspende sind in diesem Zusammenhang die Versickerungsgeschwindigkeiten des Niederschlagswassers aus der Rekultivierungsschicht in hoher zeitlicher Auflösung auf der Basis von 15-Minuten-Werten relevant. Für ausgewählte Zeiträume mit hohen Niederschlägen/Dränspenden sind nachfolgend die Ergebnisse dargestellt.

### **3.3.2 Ergebnisse der Lysimetermessungen mit hoher zeitlicher Auflösung**

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Versickerungsmessungen aus der Rekultivierungsschicht des Lysimeters M 1 für 2 Zeiträume mit ausgesprochen hohen Niederschlagsmengen dargestellt.

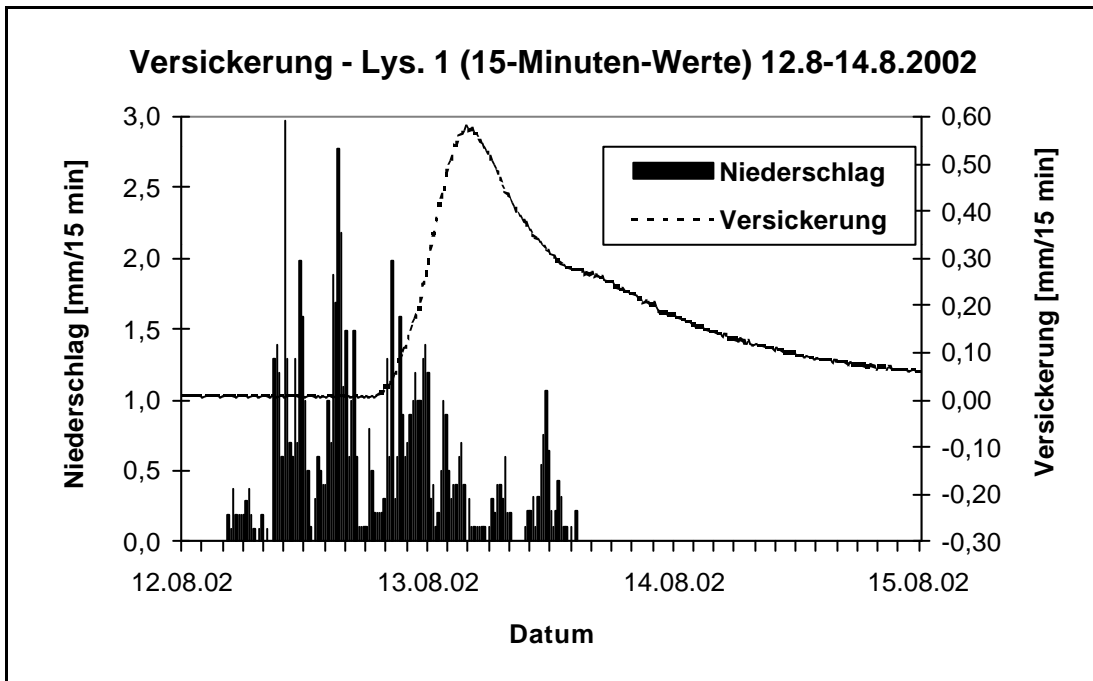
Es handelt sich hierbei um die Monate August und Oktober 2002 mit einer Niederschlagsmenge von 252 mm bzw. 106 mm (am Boden gemessener Niederschlag).

Die Abb. 3 zeigt die Tagessummenwerte der Niederschläge und der Versickerung aus dem Lysimeter M 1 für den Zeitraum vom 01.08. - 31.08.2002.



**Abb. 3:** Tageswerte des Niederschlags und der Versickerung/Dränspende

Nach den beiden ersten hohen Niederschlagsereignissen am 5.8. und 7.8 setzte die Versickerung aus dem Lysimeter M 1 mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. 24 h gegenüber dem 2. Niederschlagsereignis am 8.8. ein.



**Abb. 4a:** 15-Minutenwerte des Niederschlags und der Versickerung/Dränspende

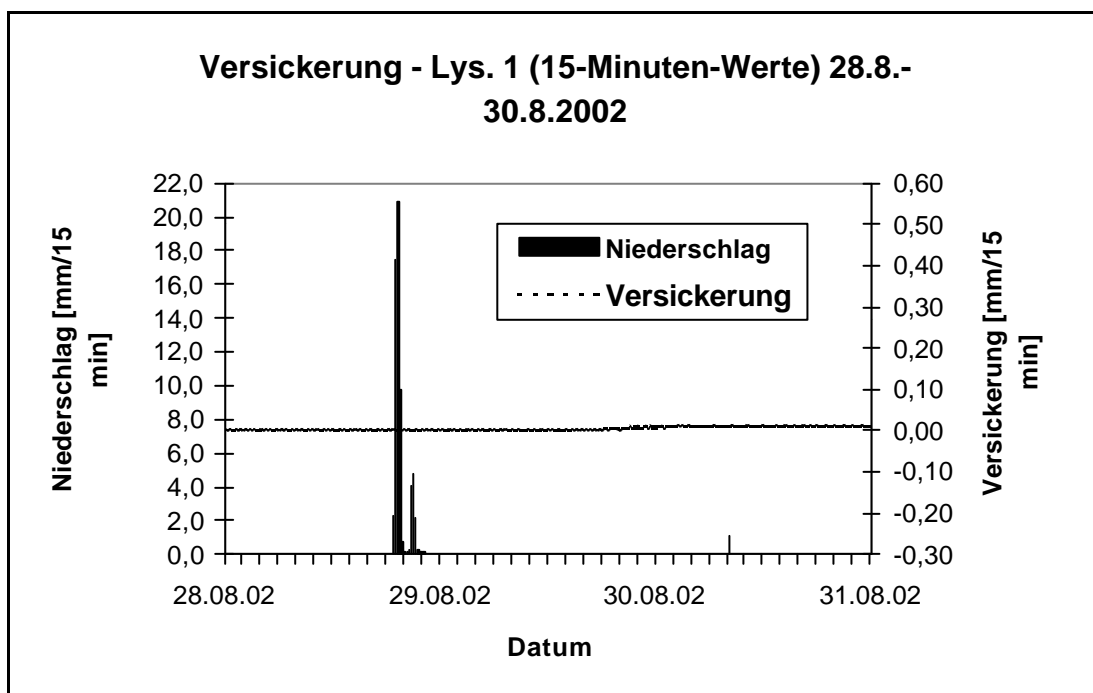
Am 13. des Monats ist nach den weiteren hohen Niederschlägen am Tag zuvor eine maximale Versickerung/Dränspende von 32,5 mm/d gemessen worden.

Die Darstellung der Ergebnisse auf der Basis von 15-Minuten-Werten in der Abb. 4a zeigt den Zusammenhang zwischen dem Niederschlagsgeschehen, dem Wasseraufnahmevermögen und der Versickerung aus dem Lysimeter/Dränspende.

In der Abb. 4a ist zu erkennen, dass das Niederschlagsereignis am 12.8./13.8. nicht aus einem Starkregen resultierte. Es handelt sich in diesem Fall vielmehr um einen ergiebigen sommerlichen Dauerregen mit einer max. Niederschlagsintensität von ca. 3,0 mm/15-min (d.h. 33,3 l/(s x ha)).

Aufgrund der hohen Niederschläge in den Tagen zuvor, war das Wasserspeichervermögen des Bodens erschöpft, so dass es zu den hohen Versickerungsintensitäten nach dem o.g. "Dauerregen" am 12.8. gekommen ist. Am 13.8. wurden in dem 1,5-stündigen Zeitraum von 3<sup>15</sup> - 4<sup>45</sup> ein Maximum von 0,57 - 0,58 mm/15-min gemessen. Auch in dem 4,5-stündigen Zeitraum von 2<sup>00</sup> - 6<sup>30</sup> waren die gemessenen Werte der Versickerung  $\geq 0,50$  mm/15-min.

Am 28.8. wurde ein weiteres hohes Regenereignis mit einem Tagessummenwert von 63 mm/d gemessen. In der Darstellung der Abb. 4b wird deutlich, dass es sich hierbei um einen außergewöhnlichen Starkregen handelte.



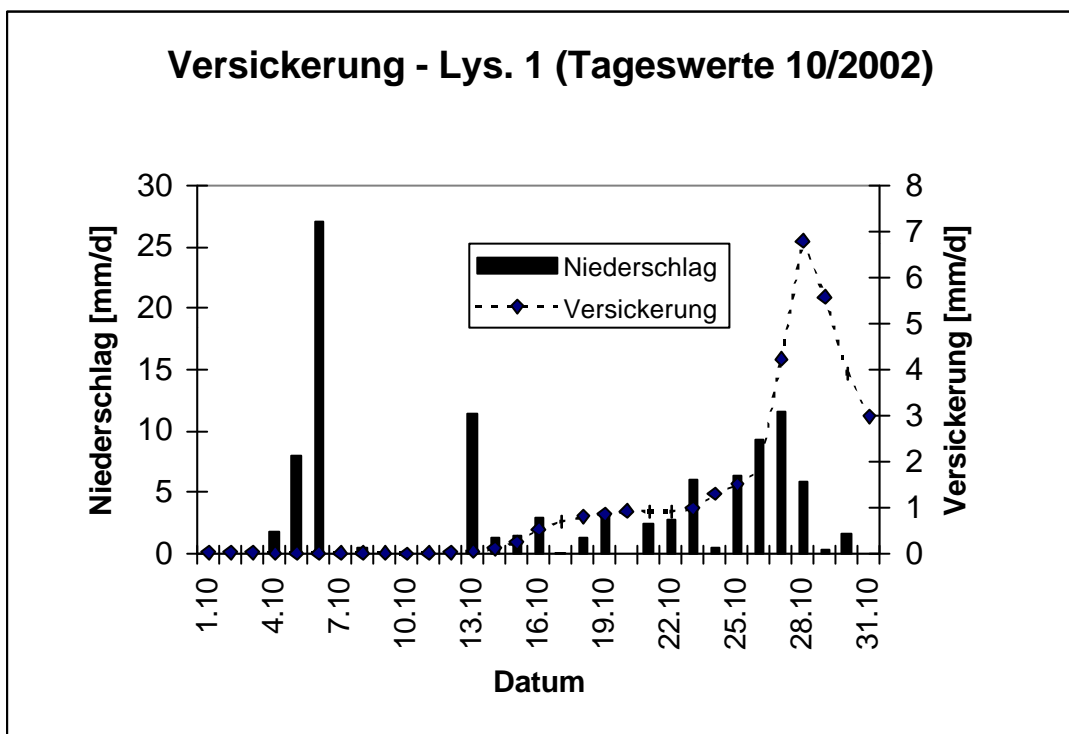
**Abb. 4b:** 15-Minuten-Werte des Niederschlags und der Versickerung/Dränspende

Der maximale 15-Minuten-Wert des Niederschlags wurde am 28.8.2002 in der Zeit von 19<sup>00</sup> - 19<sup>15</sup> mit 21,3 mm gemessen. Das entspricht einer Regenspende von 237 l/(s x ha) und stellt für den Standort Berlin ein etwa 8-jähriges Regenereignis dar (n = 0,125).

Dieses Starkregenereignis führte im Unterschied zu dem Dauerregen am 12.8. nur zu sehr geringen Versickerungen/Dränspenden!

Hinsichtlich der maximalen Dränspenden stellen die Bedingungen am 12.8.2002 ein einmaliges/außergewöhnliches Ereignis dar.

Die Abb. 5 zeigt die Werte für den Monat Oktober 2002 mit einem Tagesspitzenwert der gemessenen Versickerung von 6,6 mm.

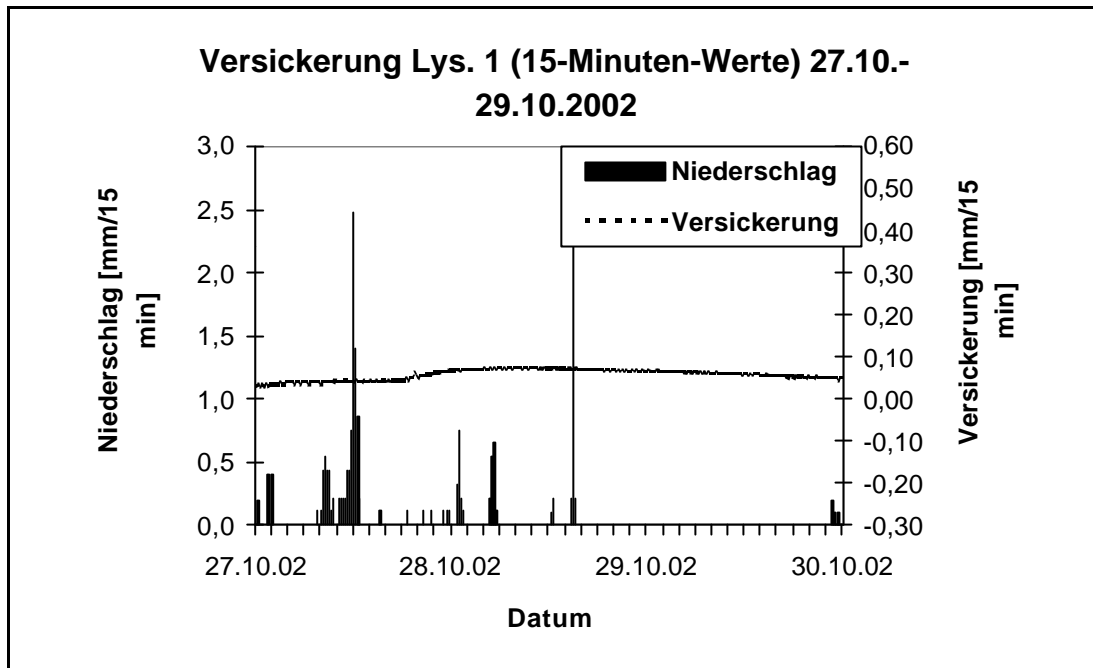


**Abb. 5:** Tageswerte des Niederschlags und der Versickerung/Dränspende

In dem bisherigen 2-jährigen Untersuchungszeitraum wurde insgesamt in 7 Fällen ein Tageswert der Versickerung in dem Bereich von 5 - 10 mm/d gemessen.

Das bedeutet, dass an 99 % aller Tage eine Dränspende von 5 mm/d unterschritten bzw. nur an 1 % aller Tage überschritten wird.

Die Abb. 6 steht somit stellvertretend für die üblicherweise vorhandenen Versickerungen aus der Rekultivierungsschicht. Unter "normalen Bedingungen" ist ein allmählicher Anstieg der Versickerung/Dränspende zu erwarten.



**Abb. 6:** 15-Minutenwerte des Niederschlags und der Versickerung/Dränspende

So wurde nach den Niederschlägen in der Zeit vom 25. - 27.10.2002 ein lang andauerndes "geringes" Maximum der Versickerung/Dränspende von nur 0,07 - 0,08 mm/15-min gemessen.

#### 4.0 Bewertung der Ergebnisse der Versickerungsmessungen

Im Kapitel 2.0 wurden die gängigen Bemessungsansätze für die Ermittlung der Dränspende im Zusammenhang mit der Entwässerungsplanung im Deponiebau dargestellt. Nachfolgend sind die gemessenen 15-min. Werte der Versickerung aus dem Lysimeter M 1 im Vergleich zu den rechnerischen Annahmen für die Dränspende gemäß den Vorgaben des LUA Brandenburg und in Anlehnung an die GDA-Empfehlung E 2-20 dargestellt:

ø (LUA) :	115,0 (l/s x ha) x 0,25	28,8 (l/s x ha)
ø (E 2-20) :	25,0 (l/m <sup>2</sup> x d)	2,9 (l/s x ha)
ø (Lys) 08/2002:	0,58 (l/m <sup>2</sup> x 15 Min.)	6,4 (l/s x ha)
ø (Lys) 10/2002:	0,08 (l/m <sup>2</sup> x 15 Min.)	0,9 (l/s x ha)



Die in situ gemessenen Werte der Dränspenden zeigen deutlich geringere Werte im Vergleich zu den gerechneten Werten gemäß den Vorgaben des LUA. Das gilt sowohl für das absolute Maximum im Monat 8/2002 als auch für den höchsten Wert des Monats 10/2002. Diese erhebliche Reduzierung der gemessenen Versickerung des Niederschlagswassers aus der grasbewachsenen Rekultivierungsschicht im Vergleich zu den Vorgaben des LUA kann unter bodenkundlichen/hydrologischen Gesichtspunkten folgendermaßen begründet werden:

Die 1,0 m mächtige Rekultivierungsschicht des Lysimeters M 1 besitzt auch bei hohen Bodenfeuchten und hohen Niederschlagsmengen ein entsprechendes Dämpfungsvermögen. Die Versickerung aus dem Lysimeter/Rekultivierungsschicht tritt zeitverzögert auf, da sich die Versickerungsfront des Niederschlagswassers zunächst innerhalb der Rekultivierungsschicht vertikal ausbreiten muss. Die Versickerungsgeschwindigkeit wird dabei maßgeblich durch die ungesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens im Lysimeter bestimmt und stellt gleichzeitig die maximale Dränspende auf der Basis von 15-Minuten-Werten dar.

Die GDA-Empfehlung E 2-20 gibt für sandige Böden als Bemessungsgrundlage für Drän-schichten einen Tagesspitzenwert der Versickerung aus der Rekultivierungsschicht/Dränspende von 25 mm vor. Der gemessene Tagesspitzenwert am 13.8.2002 betrug 32,5 mm und liegt damit bei einem Vergleich der Tagesspitzenwerte über dem Wert der E 2-20 (Faktor:  $32,5/25,0 = 1,3$ ).

Bei einer Betrachtung auf der Basis von 15-Minuten-Werten ist festzustellen, dass im Vergleich zu den Vorgaben der GDA-Empfehlung E 2-20 im August 2002 eine deutliche Überschreitung der 15-minütigen Dränspende gemessen (Faktor:  $6,4/2,9 = 2,2$ ) worden ist.

Die erhöhten Werte im August 2002 lassen sich damit begründen, dass in der Entwässerungsplanung zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit aus dem maximalen Tageswert gemäß den Vorgaben der E 2-20 durch einfache Division mit dem Faktor 86400 die maßgebliche sekundliche Dränspende berechnet.

Es wird kein tageszeitlicher Gang unterstellt. Die Messungen haben aber verdeutlicht, dass dieser auf der Basis von 15-Minuten Werten vorhanden ist und somit entsprechend höhere Werte für kürzere Zeitintervalle vorhanden sind, als nach der E 2-20 unterstellt wird (s.a. Abb. 4a).

## 5.0 Hinweise zur hydraulischen Bemessung von Dränschichten

Im Vergleich zu den üblicherweise verwendeten Spitzenabflussbeiwerten für die Ermittlung der Dränspende im Zusammenhang mit der Entwässerungsplanung der Oberflächenabdichtungssysteme im Deponiebau werden die mit dem Lysimeter M 1 gemessenen Werte noch einmal dargestellt:

ø (LUA) :	115,0 (l/s x ha) x 0,25	28,8 (l/s x ha)
ø (E 2-20) :	25,0 (l/m <sup>2</sup> x d)	2,9 (l/s x ha)
ø (Lys) 08/2002:	0,58 (l/m <sup>2</sup> x 15 Min.)	6,4 (l/s x ha)
ø (Lys) 10/2002:	0,08 (l/m <sup>2</sup> x 15 Min.)	0,9 (l/s x ha)

Gegenüber den maximal gemessenen Werten an der Lysimeteranlage in Berlin - Dahlem bedeutet der rechnerische Wert gemäß den Vorgaben des Landesumweltamts Brandenburg näherungsweise eine Erhöhung (Sicherheit) um den Faktor 4,5.

Die in dem Kapitel 2.0 dargestellten und üblicherweise verwendeten Spitzenabflussbeiwerte/Dränspenden von 0,2 - 0,3 müssen als deutlich zu hoch eingestuft werden und führen zu entsprechenden Überdimensionierungen der Entwässerungsanlagen in der Praxis.

Wieweit aus fachlichen Gesichtspunkten eine Reduzierung des Abflussbeiwertes/Dränspende bei der Planung der Entwässerungsschichten für die Oberflächenabdichtungssysteme der 4 Großdeponien der MEAB zu vertreten ist, werden die weiteren projektspezifischen hydrologischen Messungen der Dränspenden aus den Lysimetern und die Dränschichtabflüsse der Versuchsfelder zeigen.

Neben den Versuchsfeldern der MEAB auf der Deponie Deetz werden an mehreren Standorten in Deutschland Lysimeter- und Testfelduntersuchungen mit hoher zeitlicher Auflösung durchgeführt. Im Hinblick auf eine zuverlässige Ermittlung der Dränspenden für die Entwässerungsplanung im Deponiebau empfehlen die Autoren eine Darstellung und Bewertung der Messergebnisse auch in hoher zeitlicher Auflösung, um die mit dem Lysimeter M 1 gemessenen Werte ggf. auch für andere Standorte zu bestätigen oder zu widerlegen. Dies gilt insbesondere auch für Rekultivierungsschichten die aus Böden mit einem hohen Wasserspeichervermögen bestehen.

## **6.0 Zusammenfassung und Ausblick**

Im Rahmen dieses Beitrags wurden die gängigen Bemessungsansätze zur Quantifizierung der Dränspende für die Entwässerungsplanung im Deponiebau dargestellt.

Im Vergleich zu den gemessenen Werten der Versickerung aus einer 1,0 m mächtigen Re-kultivierungsschicht eines Lysimeter an der Lysimeteranlage in Berlin-Dahlem erfolgte eine Bewertung dieser gängigen Bemessungsansätze.

Es konnte aufgezeigt werden, dass auch unter "worst case" Bedingungen die gemessenen Werte die "berechneten" Werte gemäß den Vorgaben des Landesumweltamts Brandenburg um ein mehrfaches unterschritten haben.

Bei einer Betrachtung der Tagesspitzenwerte wurde der in der GDA - Empfehlung 2-20 vorgegebene Wert von 25 mm/d um 30 % überschritten (Faktor 1,3).

Bei einer Betrachtung auf der Basis von 15-Minuten Werten ist allerdings festzustellen, dass im Vergleich zu den Vorgaben der GDA-Empfehlung E 2-20 im August 2002 eine deutliche Überschreitung der 15-minütigen Dränspende (Faktor 2,2) gemessen worden ist.

Es wurden Hinweise für eine Optimierung der hydraulischen Bemessung von Dränschichten gegeben, die insbesondere bei den großen Deponieoberflächen der MEAB zu einer Kostenreduzierung führen werden.

Neben der zuverlässigen Erfassung der Dränspende ist auch der Oberflächenabfluss zu nennen, da diese beiden Abflüsse üblicherweise gemeinsam dem/den Versickerungsbecken zugeführt bzw. in die Vorflut eingeleitet werden. Im Hinblick auf die Ermittlung der Größe und des zeitlichen Verlaufs des Oberflächenabflusses wird auf die Publikation von MARKWARDT et. al (2003) verwiesen. Dort wurden sehr geringe Oberflächenabflüsse dokumentiert. In Verbindung damit lassen sich ggf. weitere Optimierungen bzgl. der Entwässerungsplanung im Deponiebau ableiten.

## 7.0 Literatur zum Thema

- Bodenkundliche Kartieranleitung (1994): AG Bodenkunde, 4. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- BRÜCKLMEIER, W., MELCHIOR, ST., STEINERT, B.: (2003): Versuchsfelder zur Untersuchung der Wirksamkeit alternativer Oberflächenabdichtungen auf der Deponie Deetz, Bauhaus -Universität Weimar, Schriftenreihe Geotechnik, Heft 10 Band 1 , ISBN 3 86068-199-0
- DGGT- Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (1997): GDA-Empfehlungen- Geotechnik der Deponien und Altlasten. 3. Auflage 1997 Verlag Ernst & Sohn
- GDA-Empfehlung E 2-31 (2000): Rekultivierungsschichten HAMBURGER BODENKUNDLICHE ARBEITEN BAND 47, ISSN : 0724-6382
- HENKEN-MELLIES, U. (2002): Langzeitverhalten von Dränmatten und Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen - Ergebnisse eines Testfeldes auf der Deponie "Im Dienstfeld", Landkreis Ansbach, 18. Fachtagung "Die sichere Deponie" des Süddeutschen Kunststoffzentrums am 14./15.2.2002 in Würzburg, Tagungsband
- MARKWARDT, N. (2002): Lehrveranstaltung Wasserhaushalt und Kulturtechnik I (angewandte Hydrologie) an der TU-Berlin, vorlesungsbegleitende Unterlagen
- MARKWARDT, N., HENKEN-MELLIES W.U., SUTORIS, M. (2003): Messungen von Oberflächenabflüssen und weitergehende Bemessungsansätze zur Kostenoptimierung von Entwässerungsanlagen im Deponiebau, in Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2003, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Band 128, Erich Schmidt Verlag, ISBN 3 503 07485 6
- PEDO TEC GMBH (2003): Lysimeteruntersuchungen und Wasserhaushaltsberechnungen zur Kostenreduzierung bei der Herstellung von Rekultivierungsschichten für die Deponiestandorte der MEAB unter Einbeziehung von Sekundärbaustoffen, unveröffentlichtes Gutachten
- SAATHOFF, F. (2002): Dränsysteme aus Wirtgelege und Vliesstoff, 15. Fachtagung "Die sichere Deponie" des Süddeutschen Kunststoffzentrums am 18./19.2.1999 in Würzburg, Tagungsband
- SOKOLLEK, V. (2000): Wasserhaushalt und Abflussverhalten eines Oberflächenabdichtungssystems (Deponie Georgswerder) auf der Basis zehnjähriger Messungen, HAMBURGER BODENKUNDLICHE ARBEITEN BAND 47, ISSN : 0724-6382