

Ergebnisse der Aufgrabungen am alternativen Oberflächenabdichtungssystem (Bentonit- und Dränmattenkombination) der Deponie Tagewerben, Landkreis Weißenfels

Prof. Dipl.-Ing. Manfred Kilchert, HTWK Leipzig (FH)
Dr.-Ing Norbert Markwardt, pedo tec GmbH, Berlin

1 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Minimierung bzw. Vermeidung des Niederschlagseintritts in Deponien stellen Bentonitmatten und Dränmatten alternative Dichtungs- und Dränelemente von Oberflächenabdichtungssystemen dar.

Im Rahmen dieses Beitrags werden die wesentlichen Ergebnisse des Projekts "Aufgrabungen und Untersuchungen auf der Deponie Tagewerben, LK Weißenfels, an einem alternativen Oberflächenabdichtungssystem (Bentonitmatte)" dargestellt und bewertet, das im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz (LAU) Sachsen-Anhalt vom Fachgebiet Geotechnik/Deponiebau (Prof. Dipl.-Ing. M. Kilchert) der HTWK Leipzig in Zusammenarbeit mit der pedotec GmbH Berlin durchgeführt worden ist.

Die Ergebnisse der 3 durchgeführten Aufgrabungen dienen zunächst als Grundlage für die Bewertung der Wirksamkeit (Dichtungswirkung der Bentonitmatte und Wasserleitvermögen der Dränmatte) des auf der Deponie Tagewerben realisierten alternativen Oberflächenabdichtungssystems unter den konkreten Standortbedingungen mit extrem niedrigen mittleren Jahresniederschlägen.

Aufgrund der niederschlagsarmen Verhältnissen am Standort Tagewerben mit einem mittleren Jahressummenniederschlag von ca. 500 mm/a wurden wissenschaftliche Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit (Austrocknungsverhalten und Wiedervernässung der Bentonitmatte, Durchwurzelungsproblematik) durchgeführt.

In Verbindung mit Wasserhaushaltsmodellierungen war unter Berücksichtigung der bodenkundlichen und vegetationspezifischen Besonderheiten der Rekultivierungsschicht zunächst eine Bewertung des am Standort Tagewerben ausgeführten Alternativsystems Bentonitmatte-Dränmatte vorzunehmen.

Im Anschluss daran wurde auf der Grundlage weiterer Wasserhaushaltsberechnungen für Varianten des Abdichtungssystems mit anderen Bentonitmatten- und Dränmattentypen geprüft, ob dieses Alternativsystem grundsätzlich auch für andere Deponiestandorte in Sachsen-Anhalt mit vergleichbaren klimatischen Bedingungen als endgültige Sicherungsmaßnahme empfohlen werden kann.

2 Klimatische Bedingungen in Mitteldeutschland

Die unterschiedliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in Deutschland ist aus der Karte des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ersichtlich, die dem - im weiteren Verlauf - noch folgenden Beitrag von Dr. Markwardt beigelegt ist.

Der Karte ist zu entnehmen, dass die Bandbreite des Niederschlags für den Nordosten Deutschland von minimal 400-500 mm (Thüringer Becken, große Teile Sachsen-Anhalts und

vereinzelt Bereiche im östlichen Teil Brandenburgs) bis maximal 1100 mm schwankt (Höhenlagen im Thüringer Wald und Erzgebirge).

Die unterschiedlichen klimatischen Voraussetzungen für Deponiestandorte in Sachsen-Anhalt werden in der **Tab. 1** deutlich.

Tab. 1 Monatssummenwerte des Niederschlags (langj. Mittel 1961 - 1990) für unterschiedliche Standorte in Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen

Monat	See- hausen (mm)	Magde- burg (mm)	Witten- berg (mm)	Brocken (mm)	Weiß- fels (mm)	Meiningen (mm)	Aue (mm)
Jan	40	33	41	182	25	50	53
Feb	29	31	34	139	26	41	48
Mär	37	38	41	164	33	51	52
Apr	39	40	42	131	44	50	71
Mai	48	47	52	118	50	61	80
Jun	64	62	63	139	59	73	94
Jul	57	48	48	133	45	59	85
Aug	51	51	62	138	57	61	89
Sep	46	36	46	131	39	48	65
Okt	36	29	39	136	32	47	49
Nov	44	38	44	189	30	56	55
Dez	48	41	53	215	31	64	63
Summe 1-12	539	494	565	1815	471	661	804
Summe * 11-4	237	221	255	1020	189	312	342
Summe ** 5- 10	302	273	310	795	282	349	462

* **Winterhalbjahr** ** Sommerhalbjahr

Die Tab. 1 zeigt für verschiedene Standorte das langjährige Mittel von 1961-1990 (Quelle: Monatliche Witterungsberichte des Deutschen Wetterdienstes DWD) und die jahreszeitliche Verteilung des Niederschlags auf der Basis von Monatssummenwerten sowie die Zusammenfassung dieser Monatssummenwerte für das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr.

Während für die Standorte in Sachsen-Anhalt generell geringe Niederschläge als Folge ihrer Lage im Regenschatten des Harzes vorhanden sind, sind z.B. für die Standorte Meiningen (Thüringen) und Aue (Sachsen) deutlich höhere Niederschläge vorhanden.

Neben den geringen Jahressummenwerten des Niederschlags für die Standorte in Sachsen-Anhalt sind vor allem auch die geringen Niederschläge in den verdunstungsarmen Wintermonaten zu nennen.

Für den niederschlagsärmsten Standort Weißenfels (s. Tab. 1) mit einem langjährigen Mittel des Niederschlags von 471 mm/a beträgt der Wert für das hydrologische Winterhalbjahr (Monate Nov.-Apr.) lediglich 189 mm.

3 Daten der Deponie Tagewerben

- Deponiestandort: ca. 2 km nördlich von Weißenfels bei Tagewerben „Am Wasserturm“
- Deponiefläche: ca. 4,8 ha
- Vorgeschichte
 - verfüllte ehemalige Kiesgrube
 - 1969 – 1986 - Müllverkipfung: kommunale u. industrielle Abfälle (keine Sohldichtung)
- bis 1990 Nutzung als „Handwagenkippe“
 - 1997 - Iststandserfassung → Handlungsbedarf
- Einstufung in Deponieklasse 1 (TASi)
- Planung des Oberflächenabdichtungssystems (OFA)
 - 10/97 – 12/98 Herstellung der OFA (1. Bauabschnitt)
 - später Herstellung d. Verdunstungsbecken (2. Bauabschnitt)

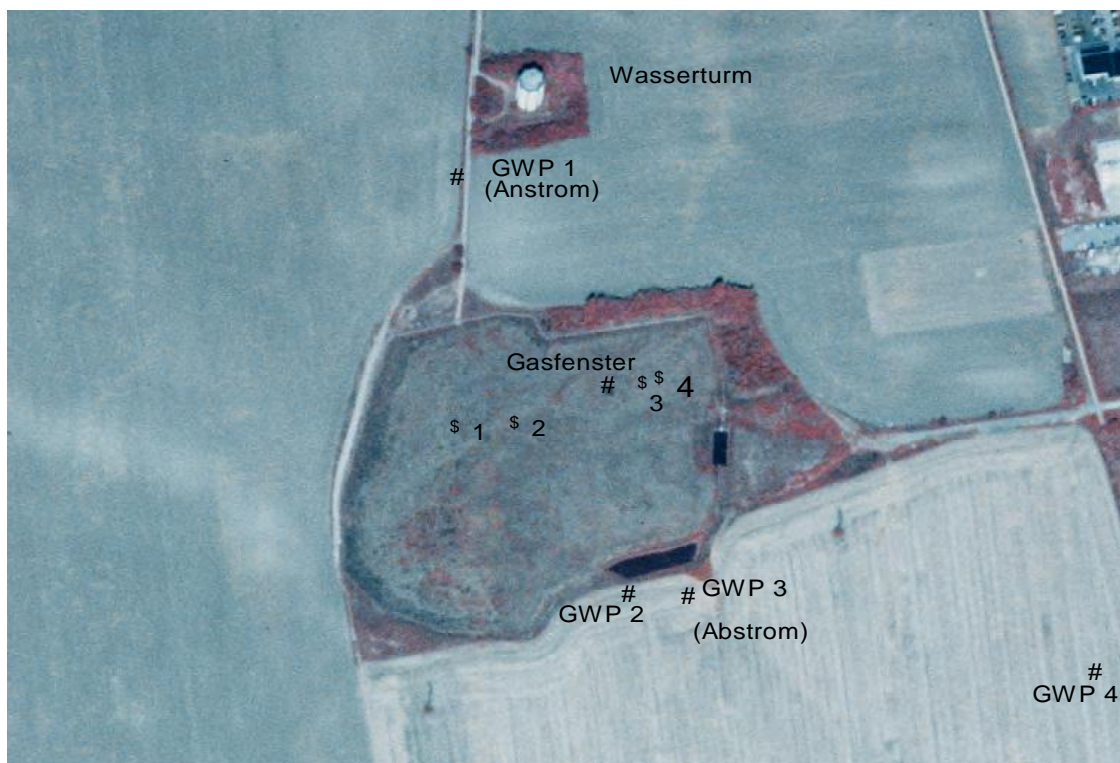


Abb. 1: Luftbild der Deponie Tagewerben mit Lage der Aufgrabungsstellen
1. Aufgrabung (\$1, \$2) / 2. Aufgrabung (\$2) / 3. Aufgrabung (\$4)

4 Aufgrabungen auf der Deponie Tagewerben

Im Rahmen des Projekts "Aufgrabungen und Untersuchungen auf der Deponie Tagewerben, LK Weißenfels, an einem alternativen Oberflächenabdichtungssystem (Bentonitmatte)" wurden drei Aufgrabungen auf der Deponie Tagewerben zur Untersuchung des dort eingebauten alternativen Oberflächenabdichtungssystems mit einer einlagigen Bentonitmatte und einer Dränmatte durchgeführt.

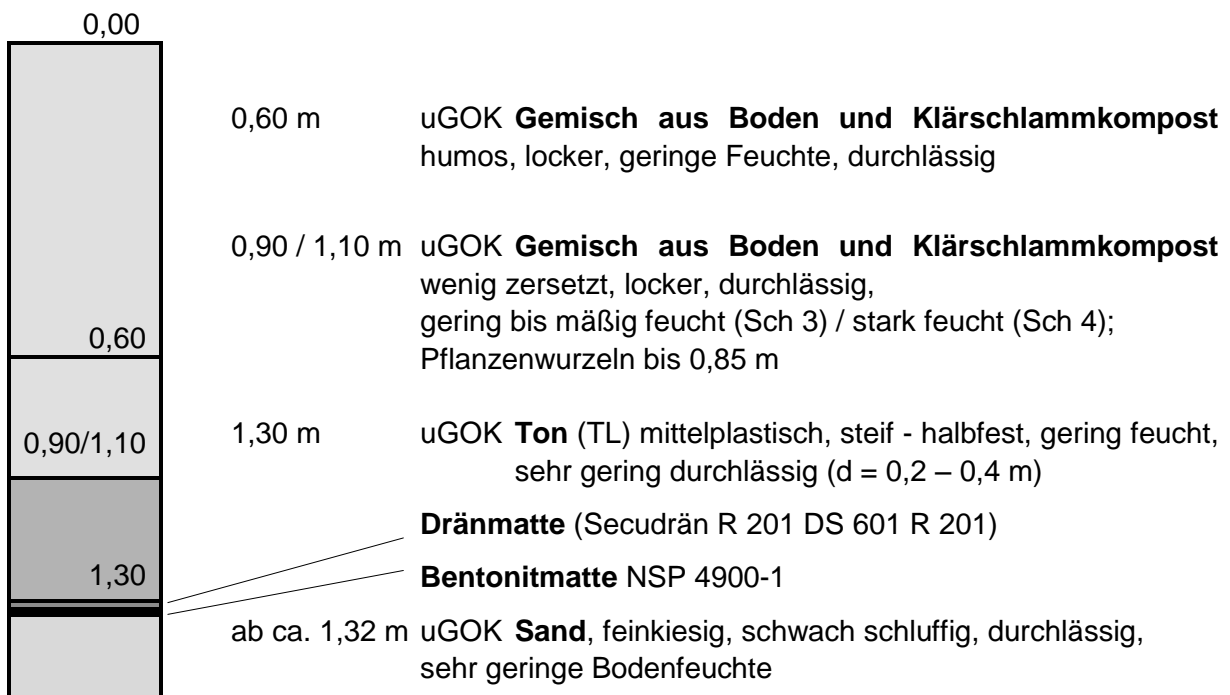
Die 1. Aufgrabung wurde vor dem Hintergrund der möglichen Austrocknung der einlagigen Bentonitmatte auf das Ende der verdunstungsintensiven Zeit des Sommers 2003 (26. und 27.8.2003) festgelegt.

Unter normalen Witterungsbedingungen ist für diesen niederschlagsarmen Standort zu dieser Zeit von einem deutlichen Bodenwasserdefizit in der Rekultivierungsschicht des vorhandenen Oberflächenabdichtungssystems auszugehen und die Möglichkeit der Austrocknung der Bentonitmatte bevorzugt gegeben. Durch die sehr geringen Niederschläge des Sommers 2003 am Standort Tagewerben wurde diese Vermutung im Vorfeld weiter bestätigt.

Die 2. Aufgrabung auf der Deponie Tagewerben war zunächst für das Frühjahr 2004 vorgesehen. Zu diesem Zeitpunkt ist aufgrund der Niederschläge in dem verdunstungsarmen Wintermonaten von einer wiedervernässten Bentonitmatte auszugehen.

Aufgrund der bei der 1. Aufgrabung vorgefundenen Verhältnisse wurde die 2. Aufgrabung auf den 12.11.2003 vorverlegt. Die zusätzliche 3. Aufgrabung wurde dann im Frühjahr 2004 am 25.5.2004 durchgeführt.

Bei der 2. Aufgrabung (Schurf 3) und der 3. Aufgrabung (Schurf 4) (s. Abb. 1) wurde der folgende generalisierte Schichtaufbau festgestellt:



Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Überblick über das Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben einschließlich der vorhandenen Entwässerungseinrichtungen und zeigen die durchgeführten Arbeiten im Rahmen der Aufgrabungen:

- Abb. 2: Vegetation bei der Deponiebegehung im August 2003
- Abb. 3: Ringgraben um die Deponie (August 2003)
- Abb. 4: Grosses Verdunstungsbecken südlich der Deponie
- Abb. 5: maximale Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht ca. 80-90 cm
- Abb. 6: Probenentnahme aus der Bentonitmatte (Bentofix NSP 4900-1) für die Laboruntersuchungen



Abb. 2: Vegetation bei der Deponiebegehung im August 2003



Abb. 3: Ringgraben um die Deponie (August 2003)



Abb. 4: Grosses Verdunstungsbecken südlich der Deponie



Abb. 5: maximale Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht ca. 80-90 cm



Abb. 6: Probenentnahme aus der Bentonitmatte (Bentofix NSP 4900-1) für die Laboruntersuchungen

5 Ergebnisse und Bewertungen der Untersuchungen an den Bentonit- und Dränmatten

5.1 Wassergehalte der Bentonitmatte zum Zeitpunkt der Aufgrabungen

Die Wassergehalte zum Zeitpunkt der Aufgrabungen ergeben sich aus den Wassergehaltsbestimmungen der beiden Prüfinstitute TU-München und ICP Karlsruhe bei Probeneingang (Anlieferungs-Wassergehalt).

Demzufolge können folgende Wassergehalte / Austrocknungszustände zum Zeitpunkt der Aufgrabungen angesetzt werden (**s.Tab.2**):

1. Aufgrabung:	Wassergehalt Bentonitmatte ⇒ mäßig feucht (nicht ausgetrocknet)	ca. 111 – 128 %
2. Aufgrabung:	Wassergehalt Bentonitmatte ⇒ sehr gering feucht („ausgetrocknet“)	ca. 68 – 83 %
3. Aufgrabung:	Wassergehalt Bentonitmatte ⇒ gering feucht („schwach ausgetrocknet“)	ca. 81 – 97 %

5.2 Geochemische und mineralogische Untersuchungen zum Ionenaustausch

Die Angaben zu den geochemischen Untersuchungen umfassen das freie Quellvolumen des Bentonits, seinen Methylenblau-Wert, die Ionenbelegung sowie die Wasseraufnahmefähigkeit. Die Ergebnisse aus sechs Proben betragen i. M.

- für das freie Quellvolumen ca. 9 ml,
- für den Methylenblau-Wert ca. 233 mg/g und
- für die Wasseraufnahmefähigkeit ca. 255 Gew.-%

Die Ergebnisse variieren im Vergleich der drei Aufgrabungen nur wenig. Somit besteht kein Zweifel, dass sich die Bentonitmatte bereits zum Zeitpunkt der ersten Aufgrabung (ca. 5 Jahre) nach Einbau in einem weit fortgeschrittenen Stadium der Ionenaustausches befand, der sich im sechsten Jahr nur noch geringfügig verstärkt hat.

Die entsprechenden Werte für Natrium-Bentonit vor Ionenaustausch betragen zum Vergleich

- für das freie Quellvolumen ca. 30 ml,
- für den Methylenblau-Wert ca. 330 mg/g und
- für die Wasseraufnahmefähigkeit ca. 500 Gew.-%

Der Vergleich der vorstehend aufgeführten Werte in der **Tabelle 2** dokumentiert, dass sich die Proben bereits in einem weit fortgeschrittenen Stadium des Ionenaustausches befinden.

5.3 Ergebnisse der Durchlässigkeitsprüfungen (s.Tab.2)

5.3.1 erste Aufgrabung:

Den Angaben der TU München zufolge beträgt der mittlere Durchlässigkeitsbeiwert der Prüflinge bei $i=30$ im stationären Zustand $1,2 \cdot 10^{-10}$ m/s. Bei $i=10$ wurde als mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert aus zwei Prüflingen $1,1 \cdot 10^{-10}$ m/s bei einer angenommenen Dicke der Bentonitmatte von 0,01 m ermittelt.

5.3.2 zweite Aufgrabung:

Die Durchlässigkeitsprüfungen der zweiten Aufgrabung mussten aus versuchstechnischen Gründen abgebrochen werden. Demzufolge wurden keine Ergebnisse für die Druckstufe $i=10$ gemeldet.

Die Ergebnisse für die Druckstufe $i=30$ zeigen eine bisher unbekannte Auffälligkeit: Trotz nachgewiesenermaßen vorhandener Austrocknung zeigen die Prüflinge keine erhöhte Anfangsdurchlässigkeit. Stattdessen wird über die gesamte Versuchsdauer eine vergleichsweise geringe Durchlässigkeit von $\leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s dokumentiert. Demzufolge fehlt auch die in allen bisherigen vergleichbaren Versuchen (vergleiche 3. Aufgrabung) festgestellte Phase der Gefügeheilung / Wiedervernässung.

Im Zusammenhang mit dem späteren Versuchsabbruch sind deshalb bereits vorhandene Versuchsstörungen wahrscheinlich. Mangels Rückstellproben und aus finanziellen Gründen konnten keine Wiederholungsversuche durchgeführt werden. Deshalb werden die Durchlässigkeitsbedingungen der zweiten Aufgrabung bei den Projektergebnissen und –bewertungen außer Acht gelassen.

5.3.3 dritte Aufgrabung:

Die Durchlässigkeitsversuche der dritten Aufgrabung zeigen das aus zahlreichen Aufgrabungen der vergangenen acht Jahren bekannte Verhalten. Nach einer kurzen Phase stark erhöhter Anfangsdurchlässigkeiten (k ca. 6 bis $9 \cdot 10^{-8}$ m/s) fallen die Werte innerhalb von ca. 20 Tagen bei $i=30$ auf eine Größenordnung von k ca. 1 bis $2 \cdot 10^{-10}$ m/s. Der Faktor um den sich die Dichtigkeit der ausgetrockneten Bentonitmatten in dieser Zeit verbessert, liegt zwischen 464 und 550.

5.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Untersuchungen den **Zustand** und die Dichtigkeit einer vernadelten Bentonitmatte im Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben **fünf bzw. sechs Jahre nach Einbau** dokumentieren. In der **Tabelle 2** sind die für die Bentonitmatten-Proben gewonnenen Prüfergebnisse zum Vergleich den entsprechenden Grunddaten für fabrikneue Na- bzw. Ca-Bentonite gegenübergestellt.

Die geochemischen und mineralogischen Untersuchungen zeigten, dass der Ionenaustausch der Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 sich in einem weit fortgeschrittenen Stadium befand.

Verbunden mit dem Wiedervernässen der „ausgetrocknet“ eingebauten Probe der Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 konnte im Verlauf der Durchlässigkeitsversuche ($i = 30$) eine deutliche Durchlässigkeitsabnahme (bzw. Dichtigkeitszunahme) gemessen werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Parameter	Dimension	Na - Bentonit	1. Aufgrabung		2. Aufgrabung		3. Aufgrabung		Ca - Bentonit
				Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2	
1	Anlieferungs-Wassergehalt	[%]	-	111	120	83,2	-	81	82	-
2	Quellvolumen Q_v	[ml]	ca. 30	9	9	8	-	7	7	≤ 10
3	Methylenblauaufnahme MB	[mg/g]	-	239	228	286	-	285	290	-
4	Wasseraufnahme w_A	[%]	≥ 500	236	273	211	-	245	265	≤ 250
5	Ca - Ionen	[%]	5 - 25	74,6	80,5	79,5	-	80	-	75 - 90
6	Mg - Ionen	[%]	-	16,6	13,0	18,3	-	16,5	-	-
7	Na - Ionen	[%]	50 - 90	7,6	6,0	1,9	-	3,2	-	< 10
8	K - Ionen	[%]	-	1,1	0,6	0,3	-	0,4	-	-
9	KAK- Kationenaustauschkap.	[mmol(e_q)/100 g]	60 - 120	69,7	71,4	78,6	-	84,4	-	-
10	Einbau-Wassergehalt	[%]	-	120	128	68	77	97	89	-
11	Durchlässigkeit k (i=30)	[m/s]	$\leq 5 \times 10^{-11}$	$1,8 \times 10^{-10}$	$6,0 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$4,0 \times 10^{-10}$	$1,6 \times 10^{-10}$	$1,4 \times 10^{-10}$	$\leq 5 \times 10^{-10}$
12	Dichtigkeitszunahme Anf./Ende	[-]	-	1,4	1,3	1,8	0,3	550	464	-
13	Durchlässigkeit k (i=10)	[m/s]	-	$1,6 \times 10^{-10}$	$5,4 \times 10^{-11}$	-	-	$1,2 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$	-
14	Ausbau-Wassergehalt	[%]	-	131	133	77	88	101	99	-

Tabelle 2: Versuchsergebnisse und Gegenüberstellung mit Literaturangaben

6 Ergebnisse und Bewertung der bodenkundlichen Untersuchungen

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Wassergehaltsmessungen der 2. und 3. Aufgrabung in unterschiedlichen Tiefen der Rekultivierungsschicht wiedergegeben.

2. Aufgrabung 11/2003

Horizont	Wassergehalte
1 (0-60 cm)	43,3 Gew%
2 (60-90 cm)	52,7 Gew%
3 (90-130 cm)	13,9 Gew%

3. Aufgrabung 5/2004

Horizont	Wassergehalte
1 (0-60 cm)	44,2 Gew%
2 (60-90 cm)	75,5 Gew%
3 (90-130 cm)	14,1 Gew%

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt bewerten:

Aufgrund des hohen organischen Anteils (Zugabe von Klärschlammkompost) in den beiden oberen Horizonten der Rekultivierungsschicht kann generell sehr viel Wasser gespeichert werden (hohe nutzbare Feldkapazität nFK).

Die Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen dokumentieren die unterschiedliche vertikale Bodenfeuchteverteilung in der Rekultivierungsschicht bei der 2. Aufgrabung im Herbst 2003 und der 3. Aufgrabung im Frühjahr 2004.

Während in dem 1. Horizont (0-60 cm) näherungsweise gleiche Bodenfeuchteverhältnisse im Herbst 2003 und im Frühjahr 2004 vorlagen, sind im 2. Horizont (60-90 cm) deutliche Unterschiede gemessen worden.

Im Schurf 3 (2. Aufgrabung) wurde im Herbst 2003 im 2. Horizont ein Wassergehalt von i.M. 52,7 Gew% gemessen, der lediglich um ca. 9 Gew-% über dem Wassergehalt des 1. Horizonts liegt. Das bedeutet, dass unter den verdunstungsintensiven Bedingungen des niederschlagsarmen Jahres 2003 (Jahressummenwert des Niederschlags = 417 mm; DWD Messstation Merseburg) ein deutlicher Wasserentzug aus diesem Bereich der Rekultivierungsschicht stattgefunden hat, der auch noch in dem unteren 3. Bereich (90-130 cm) vorhanden ist. Hier wurden sehr geringe Wassergehalte in dem verdichteten schluffigen, stark sandigen Ton von i.M. 13,9 Gew% gemessen.

Diese geringen Wassergehalte in den unteren Bereichen der Rekultivierungsschicht führten zu der bereits dargestellten geringen Wassergehalten der einlagigen Bentonitmatte.

Neben der Austrocknung der Bentonitmatte durch ein hohes Bodenfeuchtedefizit in den unteren Bereichen der Rekultivierungsschicht können tiefwurzelnde Pflanzen durch das direkte Hineinwachsen in die Bentonitmatte zu einer Austrocknung (Durchwurzelung) beitragen.

Hinsichtlich der Durchwurzelungstiefen der auf der Deponie Tagewerben vorhandenen Kraut- und Strauchvegetation war bei dem Bodenabtrag der Rekultivierungsschicht festzustellen, dass keine Wurzeln in die tiefere Bodenschichten gewachsen waren. Die Durchwurzelung war auf den oberflächennahen Bereich bis ca. 40-50 cm unter GOK begrenzt.

Nur vereinzelt wurden Pfahlwurzeln mit einer maximalen Durchwurzelungstiefe von 80 - 90 cm vorgefunden. Die 40 cm dicke verdichtete Schicht aus schluffigem, stark sandigem Ton in dem unteren Bereich der Rekultivierungsschicht ist neben der "zusätzlichen Dichtungsschicht" offensichtlich auch als "Wurzelsperre" zu verstehen. Ein Einwurzeln in diese Schicht hat nicht stattgefunden.

Die Abnahme der Bodenfeuchte in den unteren Bereichen der Rekultivierungsschicht ist deshalb mit dem kapillaren Aufstieg des Bodenwassers an die Untergrenze des Wurzelraums zu begründen.

Nach den verdunstungsarmen Wintermonaten wurde bei der 3. Aufgrabung im 2. Horizont ein Wassergehalt von i.M. 75,5 Gew% gemessen, der deutlich über dem entsprechenden Wert bei der 2. Aufgrabung liegt.

Die erhöhten Wassergehalte dokumentieren, dass die Niederschläge der verdunstungsarmen Wintermonate zu einer Auffüllung des Bodenwasserdefizits in dem 2. Horizont geführt haben. Die Niederschlagsmenge war aber offensichtlich nicht groß genug, um eine nennenswerte Versickerung in den unteren 3. Horizont der Rekultivierungsschicht zu verursachen.

Bei der 3. Aufgrabung wurde deshalb im Frühjahr 2004 nur eine geringfügige Erhöhung der Bodenfeuchte im 3. Horizont (90-130 cm) von 14,1 Gew% gegenüber dem entsprechenden Wert von 13,9 Gew% im Herbst 2003 gemessen.

An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass in dem 6-monatigen Zeitraum von 11/2003 bis 4/2004 lediglich 179 mm Niederschlag gemessen worden sind (DWD Messstation Merseburg).

Nach dem niederschlagsarmen Jahr 2003 (Jahressummenwert des Niederschlags = 417 mm) reichten die geringen Niederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres 2003/04 nicht aus, um die Bodenfeuchte in dem unteren Bereich der Rekultivierungsschicht nennenswert zu erhöhen. Folgerichtig hat deshalb auch keine nennenswerte Versickerung aus der Rekultivierungsschicht (Dränspende) in die Entwässerungsschicht (Dränmatte) stattgefunden.

7 Ergebnisse und Bewertung der Wasserhaushaltsberechnungen

Unter Berücksichtigung der standortbezogenen klimatologischen, bodenkundlichen und vegetationskundlichen Parameter wurden zunächst für das vorhandene alternative Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben für einen repräsentativen Zeitraum von 10 Jahren (Jahre 1991 bis 2000) Wasserhaushaltsberechnungen mit dem HELP Modell (Version Markwardt) durchgeführt.

Im Vergleich dazu erfolgten die Berechnungen für das Oberflächenabdichtungssystem der Deponieklasse I gemäss DepV und für drei weitere alternative Oberflächenabdichtungssysteme mit unterschiedlichen Dränmatten- und Bentonitmattentypen.

Die **Abb. 8** zeigt den prinzipiellen Schichtenaufbau der 5 Varianten.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen sind für das vorhandene Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben in der **Tab. 3** in der Zusammenfassung auf der Basis von Jahressummenwerten für den Zeitraum von 1991 - 2000 dargestellt.

Die **Tab. 4** zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen für die Varianten 2-5 auf der Basis von mittleren jährlichen Werten.

Die Wasserhaushaltsberechnungen für die Varianten 3 und 4 wurden unter Berücksichtigung der Änderung des Durchlässigkeitsbeiwertes der einlagigen Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 infolge Austrocknung und Wiedervernässung durchgeführt.

Die **Abb. 9 und 9a** zeigen für die **Variante 4** exemplarisch für das niederschlagsreichste Jahr 1994 die aufsummierten Tagessummenwerte der berechneten Wasserhaushaltskomponenten sowie den variablen Durchlässigkeitsbeiwert der einlagigen Bentonitmatte, mit der die Modellierungen durchgeführt worden sind.

Für die Variante 4 wurde eine mittlere jährliche Versickerung durch die einlagige Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 berechnet.

Eine Bewertung der Berechnungsergebnisse insb. auch vor dem Hintergrund der Empfehlung des Alternativsystems Bentonitmatte/Dränmatte auch für andere Standorte unter den besonderen klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt erfolgt im Abschnitt 7.

8 Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen

Das alternative Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben besteht aus einer einlagigen Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1, einer Dränmatte Secudrän R 201 DS 601 R 201 (Wirrgelege) und einer 1,30 - 1,40 m mächtigen Rekultivierungsschicht mit einer Strauch- und Krautvegetation.

Anhand der Ergebnisse von 3 Aufgrabungen konnte dokumentiert werden, dass unter den außergewöhnlich niederschlagsarmen Bedingungen des Jahres 2003 (Jahressummenwert des Niederschlags = 417 mm; DWD Messstation Merseburg) eine deutliche Bodenfeuchteabnahme auch in den unteren Bereichen der Rekultivierungsschicht stattgefunden hat.

Die Wassergehaltsmessungen der einlagigen Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 weisen einen Wassergehalt von i.M. 73 % aus. Die Bentonitmatte war somit zum Zeitpunkt der Aufgrabung im November 2003 ausgetrocknet (ab einem Wassergehalt von 100% beginnt die Austrocknung).

Unter den Laborbedingungen (durchgeführt von der TU-München) konnte bei einem hydraulischen Gradienten von $i = 30$ die aus den zahlreichen Aufgrabungen der letzten Jahre (s.a. EGLOFFSTEIN 2000) bekannte Wiedervernässung bestätigt werden (nach einer kurzen Phase stark erhöhter Anfangsdurchlässigkeiten fallen die k_f -Werte innerhalb von 20 Tagen auf eine Größenordnung von ca. $1-2 \times 10^{-10}$ m/s).

Demgegenüber konnte aus den Wassergehaltsmessungen in den unterschiedlichen Horizonten der Rekultivierungsschicht der Deponie Tagewerben gezeigt werden, dass nach der Austrocknung zum Ende der Vegetationsperiode 2003 in dem untersten Horizont der Rekultivierungsschicht (90 - 130 cm) keine nennenswerte Erhöhung der Bodenfeuchte im Frühjahr 2004 stattgefunden hat und folgerichtig auch keine nennenswerte Dränspende (Wasserzutritt in das Entwässerungselement (Dränmatte Secudrän R 201 DS 601 R 201)) vorhanden war.

Aufgrund des zu geringen Wasserdargebots hat zwar eine Wassergehaltszunahme der Bentonitmatte in dem Zeitraum von November 2003 bis zum Mai 2004 von i.M. 73% auf i.M. 93% stattgefunden. Die Niederschlagsmenge seit dem Zeitpunkt der 3. Aufgrabung im November 2003 reichte aber nicht aus, um einen nennenswerten Dränschichtabfluss als Voraussetzung für eine vollständige Wiedervernässung der einlagigen Bentonitmatte auf Wassergehalte von > 100% zu hervorzurufen.

Die gesamte Niederschlagsmenge des hydrologischen Winterhalbjahres 2003/04 vom 1.11.2003 bis zum 30.4.2004 betrug lediglich 179 mm (DWD Messstation Merseburg)!

Hinsichtlich der Einschätzung der Niederschlagsbedingungen des Jahres 2003 wird zunächst auf das langjährige Mittel von 490 mm/a verwiesen (30-jähriges Mittel von 1961-1990 der DWD Messstation Merseburg).

Das Jahr 2003 ist somit als sehr niederschlagsarm zu bezeichnen. Demgegenüber regnete es 774 mm in dem Jahr 2002 (außergewöhnlich niederschlagsreich) und 539 mm in dem Jahr 2004 (geringfügig über dem langjährigen Mittel).

Gemäss den o.g. Ausführungen hat im Versickerungszeitraum 2003/04 nach dem niederschlagsarmen Jahr 2003 kein nennenswerter Dränschichtabfluss stattgefunden. Das hatte zur Folge, dass die Wasserstände in den beiden östlich bzw. südlich gelegenen Verdunstungsbecken, die das aus der Entwässerungsschicht bzw. dem Ringgraben um die Deponie abfließende Niederschlagswasser aufnehmen, im Frühjahr 2004 sehr stark abgenommen hatten (ca. 60-70 cm unterhalb des jeweiligen Überlaufs).

Demgegenüber waren zu den entsprechenden Zeiten vor den Aufgrabungen bzw. nach den Aufgrabungen grundsätzliche andere Wasserstände vorhanden.

Bei den Voruntersuchungen konnte im Frühjahr 2003 festgestellt werden, dass infolge der außergewöhnlich hohen Niederschläge des Jahres 2002 bzw. des Winterhalbjahres 2002/03 große Mengen aus der Entwässerungsschicht bzw. dem Ringgraben in die beiden Verdunstungsbecken geflossen sind. Das Speichervolumen war für diese großen Mengen nicht ausreichend, so dass ein erheblicher Teil des Niederschlagswassers aus dem südlich gelegenen grossen Verdunstungsbecken über den Notüberlauf auf die angrenzende tiefer gelegene landwirtschaftlich genutzte Fläche abgeflossen ist.

Nach dem hinsichtlich der Niederschlagsbedingungen als Normaljahr zu bezeichnenden Jahr 2004 waren die beiden Verdunstungsbecken im Frühjahr 2005 "randvoll", ohne dass es zu einem Überlauf aus dem südlich gelegenen großen Verdunstungsbecken gekommen ist.

Diese Ausführungen verdeutlichen, dass unter den natürlichen Witterungsbedingungen bei entsprechend hohen Niederschlagsmengen bzw. Dränschichtabflüssen die Dichtungswirkung der einlagigen Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 vorhanden ist, die als Folge

der Wiedervernässung die entsprechend geringen Durchlässigkeitswerte - wie auch im Labor gemessen - aufweist.

Bezüglich der eingebauten Dränmatte Secudrän R 201 DS 601 R 201 (Wirrgelege) ist festzustellen, dass diese 6 Jahre nach dem Einbau in einem einwandfreien, neuwertigen Zustand vorlag. Ein Hereinwachsen von Wurzeln - auch nicht von feinen Haarwurzeln - hat nicht stattgefunden.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Aufgrabungen wurden sowohl für das vorhandene Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Tagewerben, das Oberflächenabdichtungssystem DK I gemäss DepV und drei weitere alternative Oberflächenabdichtungssysteme mit unterschiedlichen Bentonit- und Dränmattentypen Wasserhaushaltsmodellierungen für einen mehrjährigen, repräsentativen Zeitraum mit dem HELP Modell (Version Markwardt) durchgeführt.

Für das vorhandene Oberflächenabdichtungssystem konnte unter Verwendung der Aufgrabungsergebnisse anhand des 10-jährigen Simulationszeitraums von 1991 - 2000 eine mittlere jährliche Versickerung durch die einlagige Bentonitmatte von 9 mm/a und ein mittlerer jährlicher Dränschichtabfluss aus der Dränmatte von 17 mm/a ermittelt werden.

In den Wasserhaushaltsberechnungen wurde auch der Einfluss der "zusätzlichen Dichtungsschicht" des untersten verdichtet eingebauten Horizonts der Rekultivierungsschicht aus schluffigem, stark sandigem Ton dargestellt.

Als wesentliches Ergebnis der Wasserhaushaltsmodellierungen ist festzustellen, dass in den niederschlagsarmen Jahren (z.B. 1991 - 1993, 1996 und 1998) nur sehr geringe Dränschichtabflüsse berechnet worden sind, da unter diesen besonderen klimatischen Bedingungen und unter den bodenkundlichen/vegetationskundlichen Randbedingungen der Rekultivierungsschicht am Standort Tagewerben die vorhandene Verdunstung in der Größenordnung der Niederschläge liegt.

Diese Bedingungen entsprechen näherungsweise den Bedingungen des Jahres 2003 und bestätigen somit die Ergebnisse der 3. Aufgrabung im Frühjahr 2004 (geringe Bodenfeuchte in dem unteren Bereich der Rekultivierungsschicht und kein nennenswerter Dränschichtabfluss!).

Im Vergleich zu dem Oberflächenabdichtungssystem DK I gemäss DepV konnte der Einfluss der erhöhten horizontalen Wasserdurchlässigkeit der Dränmatte und der geringen Wasserdurchlässigkeit der einlagigen Bentofix - Tondichtungsbahn NSP 4900-1 nach Wiedervernässung im Vergleich zu den Mindestanforderungen für die mineralische Dichtungsschicht und die mineralische Dränschicht bzgl. der Minimierung der Versickerung durch die Bentonitmatte deutlich gemacht werden.

Für die Variante 4 (einlagige Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1, Dränmatte Secudrän RS 201 WD 601 RS 201 und 1,00 m dicke Rekultivierungsschicht mit Grasbewuchs) wurde unter Berücksichtigung von Austrocknung und Wiedervernässung der einlagigen Bentofix-Tondichtungsbahn NSP 4900-1 eine sehr geringe Durchlässigkeit von i.M. 4 mm/a berechnet.

Diese Variante stellt gemäss dem Abschlussbericht zum Vorhaben "Tageweben" die Vorzugsvariante im Hinblick auf die Empfehlung eines alternativen Oberflächenabdichtungssystems Bentonitmatte-Dränmatte als Ersatz für das Oberflächenabdichtungssystem DK I gemäss DepV auch als endgültige Sicherungsmaßnahme für andere Deponiestandorte unter den besonderen klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt dar.

Bezgl. des Entwässerungselements dieses Alternativsystems (Dränmatte Secudrän R 201 WD 601 R 201) ist auf das BAM Gutachten "Die Eignung des Kunststoff-Dränelements Secudrän R 201Z WD 601Z R 201Z für die endgültige Oberflächenabdichtung von Deponien" hinzuweisen, dass insb. die Langzeit-Scherfestigkeit dieser Dränmatte bestätigt.

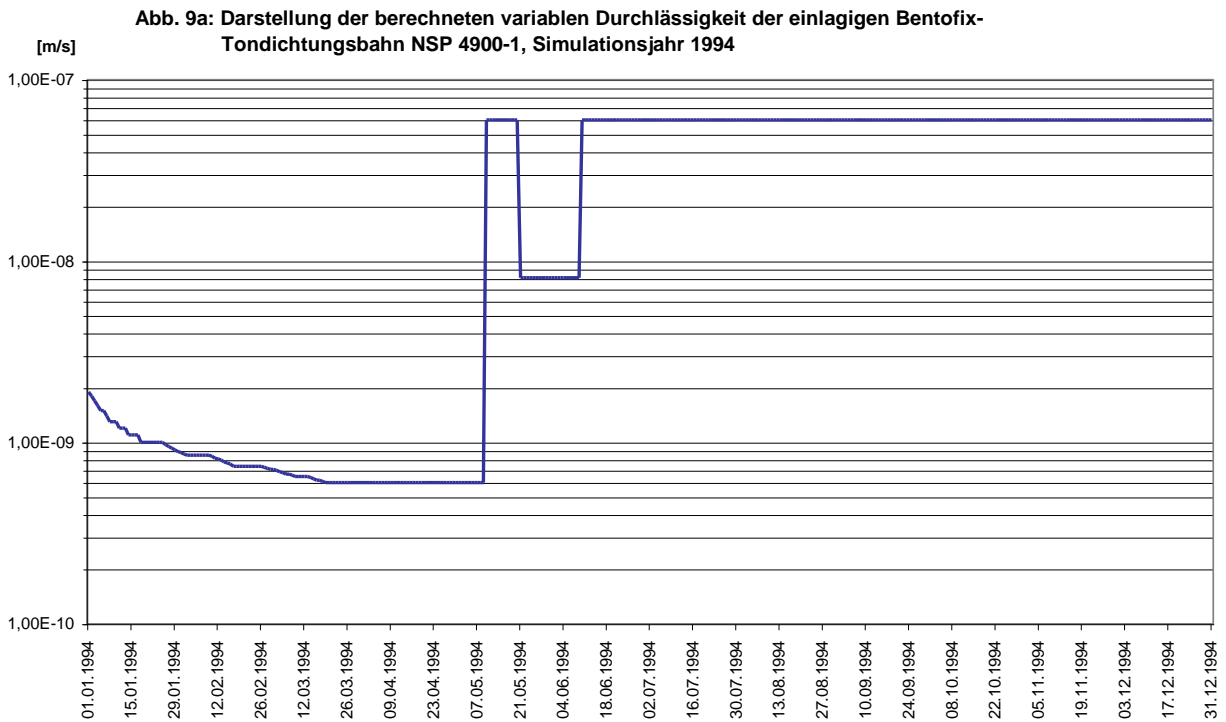
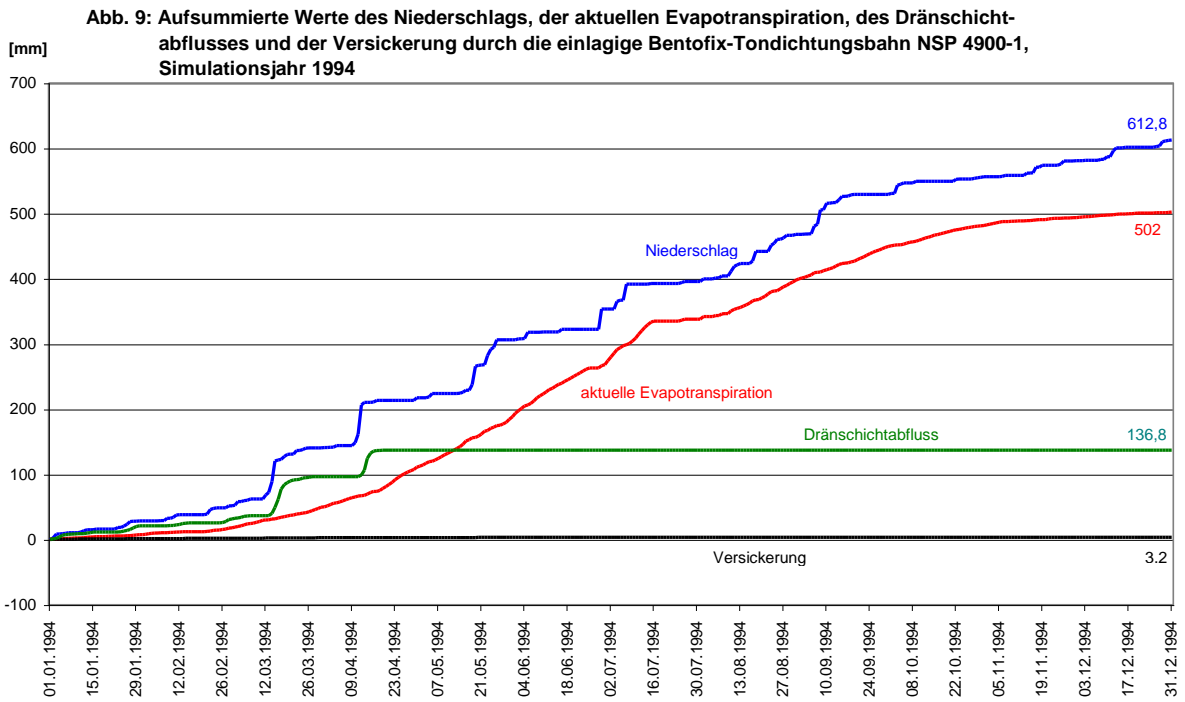
Hinsichtlich der einlagigen Bentonitmatte Bentofix NSP 4900-1 ist festzustellen, dass diese Bentonitmatte grundsätzlich als Dichtungselement - mit bestimmten Anforderungen hinsichtlich der Rekultivierungsschicht - auch unter den besonderen klimatischen Bedingungen Sachsen-Anhalts zu empfehlen ist.

Hinsichtlich der Rekultivierungsschicht ist eine Mindestschichtdicke von 1,0 m erforderlich, damit die einlagige Bentofix-Tondichtungsbahn nach Austrocknung die erforderliche Auflast hat, die für die Reduzierung der Durchlässigkeit nach Wiedervernässung notwendig ist.

Der Einbau der Rekultivierungsschicht sollte zeitnah nach der im trockenen Zustand verlegten einlagigen Bentonitmatte erfolgen, damit diese beim 1. Wasserzutritt gleich die entsprechende Auflast hat.

Es wird empfohlen, die erforderliche Mindestschichtdicke von 1,0 m auf 1,30 m zu erhöhen. Im unteren Bereich kann ggf. Material verdichtet eingebaut werden, so dass dieser Bereich als "Wurzelsperre" zu betrachten ist.

Unter den besonderen klimatischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt (mittlere jährliche Niederschläge von ca. 500 mm) kann eine 1,30 m mächtige Rekultivierungsschicht mit einem entsprechendem Wasserspeichervermögen (in den Modellierungen wurde eine nutzbare Feldkapazität n_{FK} von 16,5 Vol% angenommen; gemäss der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG 1994 gilt dieser Wert für schluffige Sande) darüber hinaus langfristig auch als Wasserhaushaltsschicht wirken und zu einer deutlichen Minimierung der Dränspende führen.



9 Literatur

BBG(2001): Drännachweis zum Einsatz des geosynthetischen Dränsystems Secudrän R201 DS 601 R201 vom 26.2.2001, unveröffentlichtes Gutachten

BBG(2003): Ermittlung der Langzeitdicke und der hydraulischen Wirksamkeit für das geosynthetische Dränelement Secudrän R201 WD601 R201 vom 7.1.2003

Bodenkundliche Kartieranleitung (1994): AG Bodenkunde, 4. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (2004): Die Eignung des Kunststoffdränelements Secudrän R 201Z WD 601Z R 201Z für die endgültige Oberflächenabdichtung von Deponien, Gutachten, Aktenzeichen IV.32/1317/04

DepV - Deponieverordnung: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Erlass der Bundesregierung vom 21.7.2002 (seit 1.8.2002 in Kraft)

DIBt (1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. Deutsches Institut für Bautechnik, Anstalt des öffentlichen Rechts (DIBt), Berlin, Ausgabe Nov. 1995

EGLOFFSTEIN T. (2000): Der Einfluß des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien, ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Karlsruhe, Band 3, 2000, ISBN 3-9806840-2-8

EGLOFFSTEIN, T. und N. MARKWARDT (1999): Ableitung eines Langzeitdurchlässigkeitsmodells für nicht austrocknungssichere Bentonitmatten aus Aufgrabungsergebnissen der zurückliegenden Jahre, in Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten 1999, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 116, Erich Schmidt Verlag

GDA-Empfehlung E 2-30 (1998): Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien, Bautechnik 75 (9), 1998

GDA-Empfehlung E 2-31 (2000): Rekultivierungsschichten HAMBURGER BODENKUNDLICHE ARBEITEN BAND 47, ISSN:0724-6382

GDA-Empfehlung E 2-32 (2000): Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien HAMBURGER BODENKUNDLICHE ARBEITEN BAND 47, ISSN:0724-6382

HEERTEN, G. und E. REUTER (2002): Die Bedeutung der DIBt-Zulassungen für die Qualitätsanforderungen an Bentonitmatten heute und morgen, 18. Fachtagung „Die sichere Deponie“ am 14./15. Feb. 2002 in Würzburg, publiziert im Tagungsband

Landratsamt Weißenfels: Festlegungen für die Herstellung, die Überwachung und das Aufbringen der Rekultivierungsschicht auf das Oberflächendichtsystem der ehemaligen Deponie „Am Wasserturm“ in Tagewerben; 29.6.1998.

MARKWARDT, N. (1990): Der Bodenwasserhaushalt in Deponieabdeckschichten. IX, 119S., Best.Nr. 8 Va 2045, TU Berlin. UB. Abt. Publikationen, Str. d. 17. Juni 135, 1000 Berlin 12

MARKWARDT,N.(2000): Modellierung des Durchlässigkeitsverhaltens von Bentonitmatten unter Berücksichtigung von Austrocknung und Wiedervernässung am Beispiel eines niederschlagsreichen Standorts, HAMBURGER BODENKUNDLICHE ARBEITEN BAND 47, ISSN: 0724-6382

MÜLLER-ROCHHOLZ (2000): gutachterliche Stellungnahme MRG 03-00, Langzeitverhalten von Secudrän, von Prof. Dr.-Ing. Müller-Rochholz, vom 25. August 2000, unveröffentlichtes Gutachten

MÜLLER-ROCHHOLZ (2002): Prüfbericht Nr. 1.1/22030/87-2002, Langzeitverhalten von Secudrän R 201 WD 601 R 201, von Prof. Dr.-Ing. Müller-Rochholz, vom 15. April 2002

PEDO TEC (1998): Bericht über die Prüfung und Bewertung des derzeitigen "Wirksamkeitsmodells Bentofix" sowie Ableitung und Begründung einer programmtechnischen Weiterentwicklung im HELP (Markwardt) Modell, unveröffentlichtes Gutachten

REUTER, E. und N. MARKWARDT (2002): Abgleich von Modell- und Messwerten für Oberflächenabdichtungen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen, in Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten 2002, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 125, Erich Schmidt Verlag