

Langzeitverhalten von Dränmatten und Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen. – Ergebnisse eines Testfeldes auf der Deponie „Im Dienstfeld“, Landkreis Ansbach

1 Aufgabenstellung

Oberflächenabdichtungen von Abfalldeponien haben die Aufgabe, den Deponiekörper nachhaltig vor äußeren Einflüssen (Niederschlagswasser, Erosion) zu schützen und das Entweichen von Deponiegas zu unterbinden.

Die TA Siedlungsabfall (1993) gibt explizite Ausführungsvorschriften für ein Regelabdichtungssystem, lässt aber alternative Systeme zu, wenn deren Gleichwertigkeit nachgewiesen wird. Die EU-Deponierichtlinie (1999) lässt hinsichtlich der Art von Deponie-Oberflächenabdichtungen einen weiten Gestaltungsspielraum: Für Siedlungsabfalldeponien werden eine "undurchlässige mineralische Abdichtungsschicht" sowie eine "Drainageschicht > 0,5 m" und darüber eine Oberbodenabdeckung > 1 m empfohlen. Die im Entwurf vorliegende Deponieverordnung, mit der die EU-Deponierichtlinie in deutsches Recht umgesetzt werden soll, lehnt sich im wesentlichen an die TA Siedlungsabfall an. Inwieweit hier alternative Elemente wie Drän-Geokomposits oder Bentonitmatten berücksichtigt werden, ist derzeit noch nicht geklärt.

Als alternatives Dichtungselement bieten sich Bentonitmatten an. Vorteile der Bentonitmatten gegenüber herkömmlichen mineralischen Dichtungen sind u.a. die geringe Dicke (ca. 1 cm), die gleichbleibende Qualität dank industrieller Fertigung und die leichte Handhabung bei Transport und Verlegung. Als Alternative zur mineralischen Dränschicht aus Kies kommen Drän-Geokomposits in Frage. In Kombination mit einer Bentonitmatte lässt sich so die Mächtigkeit des Oberflächenabdichtungssystems im Vergleich zum Regelabdichtungssystem nach TASI um ca. 0,8 m reduzieren.

Die Langzeit-Wirksamkeit von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen wird seit Jahren kontrovers diskutiert. In Versuchsfeldern auf der Deponie Hamburg-Georgswerder wurde gezeigt, dass bei unzureichend dimensionierter Rekultivierungsschicht irreversible Strukturveränderungen an Bentonitmatten infolge von Austrocknung auftreten können (Melchior, 1999). Diese Feldversuche trugen zu der Erkenntnis bei, dass es nicht ausreicht, jedes einzelne Element eines Oberflächenabdichtungssystems zu testen, sondern dass auch

der Systemaufbau als Ganzes in langfristig angelegten Großversuchen geprüft werden muss.

Inzwischen laufen an verschiedenen Stellen weitere Feldversuche, mit denen die Wirksamkeit von Bentonitmatten unter unterschiedlichen Randbedingungen getestet wird, darunter auch das hier vorgestellte, vom Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen geförderte Forschungsprojekt E 50 zur "Langzeituntersuchung eines alternativen Oberflächenabdichtungssystems mit Geokunststoffen".

Ziel dieser Langzeituntersuchung ist es, die Wirksamkeit eines Oberflächenabdichtungssystems mit Geokunststoffen (Drän-Geokomposit und Bentonitmatte) auf einer Deponieoberfläche im Feldversuch zu testen. Dabei sollen der Wasserhaushalt des Gesamtsystems erfasst, die Wirksamkeit der einzelnen System-Elemente untersucht und etwaige Veränderungen während der mehrjährigen Beobachtungszeit studiert werden.

2. Versuchsfeld

2.1 Aufbau des Versuchsfeldes

Das Versuchsfeld wurde auf einem bereits rekultivierten Bauabschnitt der Deponie "Im Dienstfeld" (Lkr. Ansbach) realisiert. Es ist hangparallel 26 m breit und in Richtung des unter ca. 20% geneigten Hanges 20 m lang und umfasst somit eine Fläche von 520 m². Der Schichtenaufbau des Versuchsfeldes besteht aus einem Oberflächenabdichtungssystem und einem darunter angeordneten Wasserauffangsystem. Der Regelaufbau des Versuchsfeldes ist in Abbildung 1 gezeigt. Der Aufbau besteht von oben nach unten aus folgenden Schichten:

Oberflächenabdichtungssystem:

- Rekultivierungsschicht (Oberboden, mit Bewuchs) 0,2 m
- Rekultivierungsschicht (Unterboden) 0,8 m
- Drän-Geokomposit 1
- Bentonitmatte

Wasserauffangsystem:

- Ausgleichsschicht (Sand) 0,1 m
- Drän-Geokomposit 2
- Kunststoffdichtungsbahn

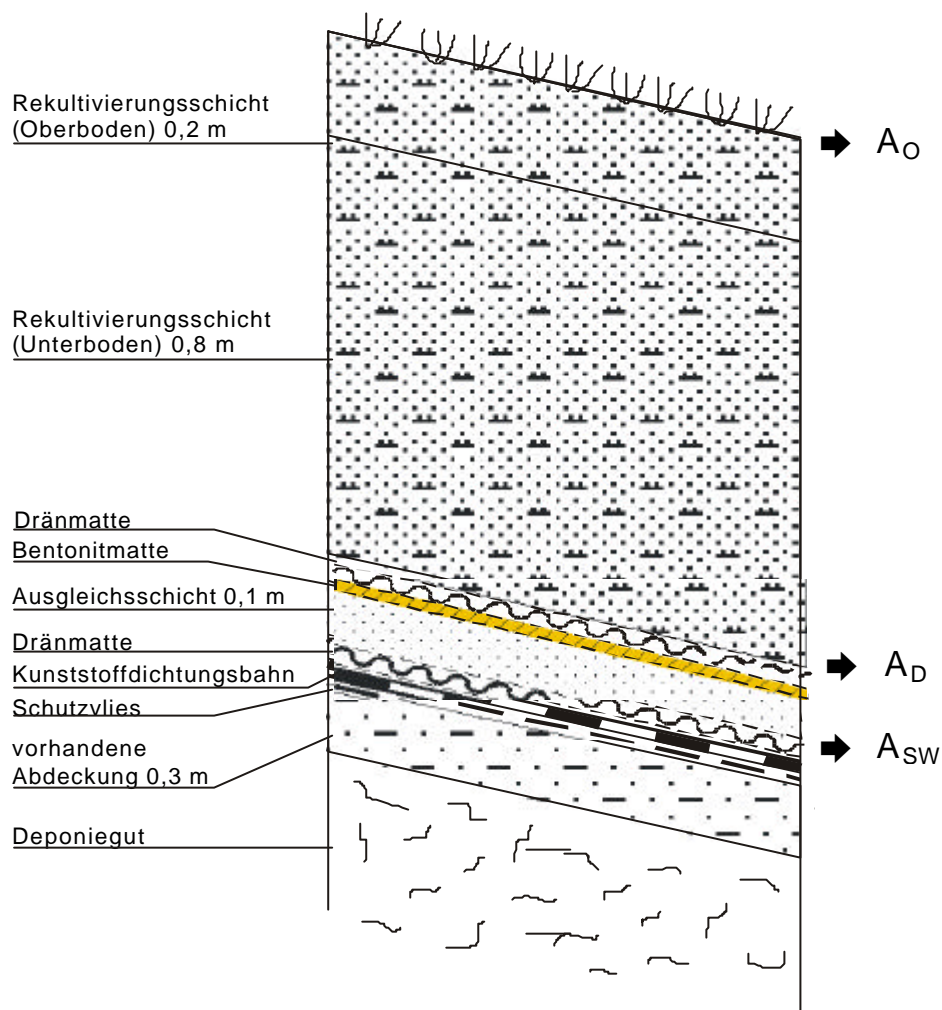


Abbildung 1: Profilaufbau des Versuchsfeldes auf der Deponie "Im Dienstfeld".

2.2 Bentonitmatte

Das zu untersuchende Dichtungselement - und somit der zentrale Bestandteil der zu testenden Oberflächenabdichtung - ist eine Calcium-Bentonitmatte. Aus den Forschungsergebnissen von der Deponie Hamburg-Georgswerder (Melchior, 1999) war bekannt, dass bei dem Einsatz von Natrium-Bentonit-Produkten im Laufe weniger Jahre Umwandlungen in Calcium-Bentonit stattfinden, was mit nachteiligen Veränderungen der ursprünglichen geotechnischen Eigenschaften verbunden ist. Da Calcium-Ionen ein üblicher Hauptbestandteil des Bodenwassers sind, sind derartige Ionenaustauschvorgänge bei dem Einsatz von Natrium-Bentonit nahezu unvermeidlich (Egloffstein, 2000).

Um diesen Effekt zu vermeiden, wurde für das Versuchsfeld von vornherein eine Tondichtungsbahn aus Calcium-Bentonit verwendet. Die bekannte, geringere

Wasseraufnahme- und Quellfähigkeit des Calcium-Bentonits wird hier bei der Produktplanung berücksichtigt (vgl. Flügge, 2000). Durch entsprechend höhere Flächengewichte an Bentonit werden ähnlich geringe Wasserdurchlässigkeiten erreicht wie bei Natrium-GTD. Das konkret eingesetzte Produkt enthält natürlichen Calcium-Bentonit mit einer flächenbezogenen Masse von 9.500 g/m^2 .

Unterhalb der Bentonitmatte ist eine Ausgleichsschicht aus schwach schluffigem Sand angeordnet. Dieses erfolgte in Anlehnung an die Zulassungsbestimmungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für den Einsatz von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungssystemen (Herold, 1998). Sie dient dazu, dass die Bentonitmatte nicht unmittelbar auf einer Dränschicht aufliegt (hier: Drän-Geokomposit 2 für den Sickerwasserabfluss).

2.3 Drän-Geokomposit

Für das zu untersuchende Abdichtungssystem mit alternativen Materialien kam ein Drän-Geokomposit zum Einsatz. Im Gegensatz zu mineralischen Dränschichten, die im Regelfall aus einer 30 cm dicken Kiesschüttung bestehen, haben Drän-Geokomposits nur eine Dicke von ca. 1 cm - 3 cm.

Drän-Geokomposits haben in der Regel einen dreischichtigen Aufbau: Zwischen zwei Geotextilien, die als Filter- und Trennlagen dienen, befindet sich im Kern die Sickerschicht. Das eingesetzte Produkt mit einer Geomatten-Sickerschicht hat ein Wasserableitvermögen von $q_{20} = 0,7 \text{ [l/(s*m)]}$ bei $i = 0,1$ und einer Auflast von 20 kPa.

2.4 Rekultivierungsschicht

Die Rekultivierungsschicht soll die mineralische Dichtung vor Beschädigung (z.B. durch Austrocknung, Frosteinwirkung, Durchwurzelung) schützen. Außerdem soll sie eine angepasste Vegetation ermöglichen, die als Erosionsschutz dient und die Evapotranspiration fördert.

Als Oberboden wurde der tonig-schluffige Sand verwendet, der dort bereits zuvor als Oberboden der mineralischen Abdeckung gedient hatte. Als Unterboden kam ein schwach schluffiger, tonmineralarmer Sand zum Einsatz, der dazu dient, die Durchwurzelung bevorzugt auf den nährstoffreicheren Oberboden zu begrenzen. Wegen des relativ geringen Feinanteils im Unterboden (Ton + Schluff < 15 %) hat dieser ein geringeres

Wasserspeichervermögen. Daher wird die zu testende GTD mit einem großen Angebot an Bodenwasser beaufschlagt. Gleichzeitig wird durch den geringen bindigen Anteil im Boden der kapillare Wasseraufstieg im Sommer begrenzt.

Die Gesamtmächtigkeit der Rekultivierungsschicht wurde auf 1 m festgelegt, was der Mindestanforderung der TA Siedlungsabfall entspricht. In der neueren Forschung wird zwar zur Pufferung des Wasserhaushalts eine dickere Rekultivierungsschicht empfohlen, jedoch sollte bei dem Versuchsfeld die durch die Geokunststoffschichten erzielte Volumeneinsparung nicht durch eine übermäßig mächtige Rekultivierungsschicht wieder zunichte gemacht werden.

2.5 Messtechnische Ausstattung des Versuchsfeldes

Das wesentliche Ziel der Langzeituntersuchung ist es, die Wirksamkeit der alternativen Oberflächenabdichtung zu testen. Da der Hauptzweck einer Oberflächenabdichtung darin besteht, Niederschlagswasser vom Deponiekörper fernzuhalten, ist die Erfassung und Messung der Wasserabflüsse die wichtigste Messaufgabe im Versuchsfeld. Die relevanten Wasserabflüsse an einem Oberflächenabdichtungssystem sind:

- A_o = Oberflächenabfluss
- A_D = Abfluss in der Dränschicht über der Dichtungsschicht
- A_{sw} = Durchsickerung der Bentonitmatte (= Sickerwasserbildung)

Das Versuchsfeld ist so ausgebaut, dass die Abflüsse A_o , A_D und A_{sw} zuverlässig getrennt erfasst und gemessen werden können. Die Wasserabflüsse aus dem Versuchsfeld werden über eine Rohrbrücke in einen Messcontainer geführt, in dem sich die Messeinrichtungen für die Wassermengenmessungen befinden.

Im Versuchsfeld sind Messprofile zur kontinuierlichen Erfassung der Bodentemperatur und Bodenfeuchte installiert. Als Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte dienen FDR-Sonden. Sie messen indirekt den volumetrischen Wassergehalt des Bodens über die Messung der scheinbaren Dielektrizitätskonstante des Bodens. Nach bodenspezifischer Kalibrierung lässt sich der volumetrische Wassergehalt mit einem relativen Messfehler von $< 5\%$ bestimmen. Direkt neben dem Versuchsfeld befindet sich der Messcontainer mit einem PC für die Ansteuerung der in-situ Messinstrumente sowie für die Datenerfassung und -speicherung. Über eine GSM-Telefonverbindung kann der PC vom LGA-Grundbauinstitut in Nürnberg aus gesteuert werden. Die aufgezeichneten Messdaten werden regelmäßig nach Nürnberg übertragen, abgespeichert und ausgewertet.

3 Messergebnisse

3.1 Niederschlag und Oberflächenabfluss

Seit November 1998 werden die Wasserabflüsse des Versuchsfeldes kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflussmessungen im bisherigen Beobachtungszeitraum zusammenfassend dargestellt.

Der Niederschlag zeigt die für das humide mitteleuropäische Klima typische annähernd gleichmäßige Verteilung über das Jahr. Während des Beobachtungszeitraums lagen die Niederschläge ca. 20% über dem langjährigen Mittel am Standort von ca. 750 mm/Jahr.

Oberflächenabfluss findet im Versuchsfeld nur in minimalem Umfang statt, abgesehen vom ersten Winter des Beobachtungszeitraums, als noch keine vollflächig ausgebildete Vegetation vorhanden war. Der Bewuchs der Rekultivierungsschicht bewirkt, dass nur minimale Anteile der Niederschläge an der Oberfläche abfließen: Die Tagesabflüsse liegen deutlich unter 1 mm/d. Der prozentuale Anteil der Oberflächenabflüsse bezogen auf die Niederschlagssumme liegt bei unter 1%. Sommerniederschläge, auch heftige, ergiebige Niederschläge im Zuge von Gewittern, führen nicht zu messbaren Oberflächenabflüssen.

3.2 Dränabfluss

In Abbildung 2 ist deutlich die jahreszeitliche Differenzierung der Dränabflüsse zu erkennen: Die Dränabflüsse konzentrieren sich vor allem auf die Winterhalbjahre (November – April), während in der Jahreshälfte von Mai bis Oktober kaum Dränabflüsse zu verzeichnen sind. Auch Starkregen-Ereignisse im Zuge von Sommergewittern machen sich nicht in der Dränabfluss-Kurve bemerkbar.

Der Tages-Maximalwert des Dränabflusses wurde im Winter 2000/2001 festgestellt und liegt bei 21 mm/d. Weitere Maxima von 13 mm/d bzw. 12 mm/d wurde in den vorangegangenen Wintern beobachtet. Daneben treten in den Winterhalbjahren jeweils mehrere Abflussereignisse mit Werten von > 5 mm/d auf. Nach dem Ende eines Regenereignisses geht der Dränabfluss jeweils in Form einer gedämpften Speicher-Leerlaufkurve innerhalb weniger Tage wieder auf Werte um 1 mm/d zurück. Das Speicher-Leerlaufverhalten ist dabei von den Materialeigenschaften (vor allem von der Porengrößenverteilung) der Rekultivierungsschicht abhängig.

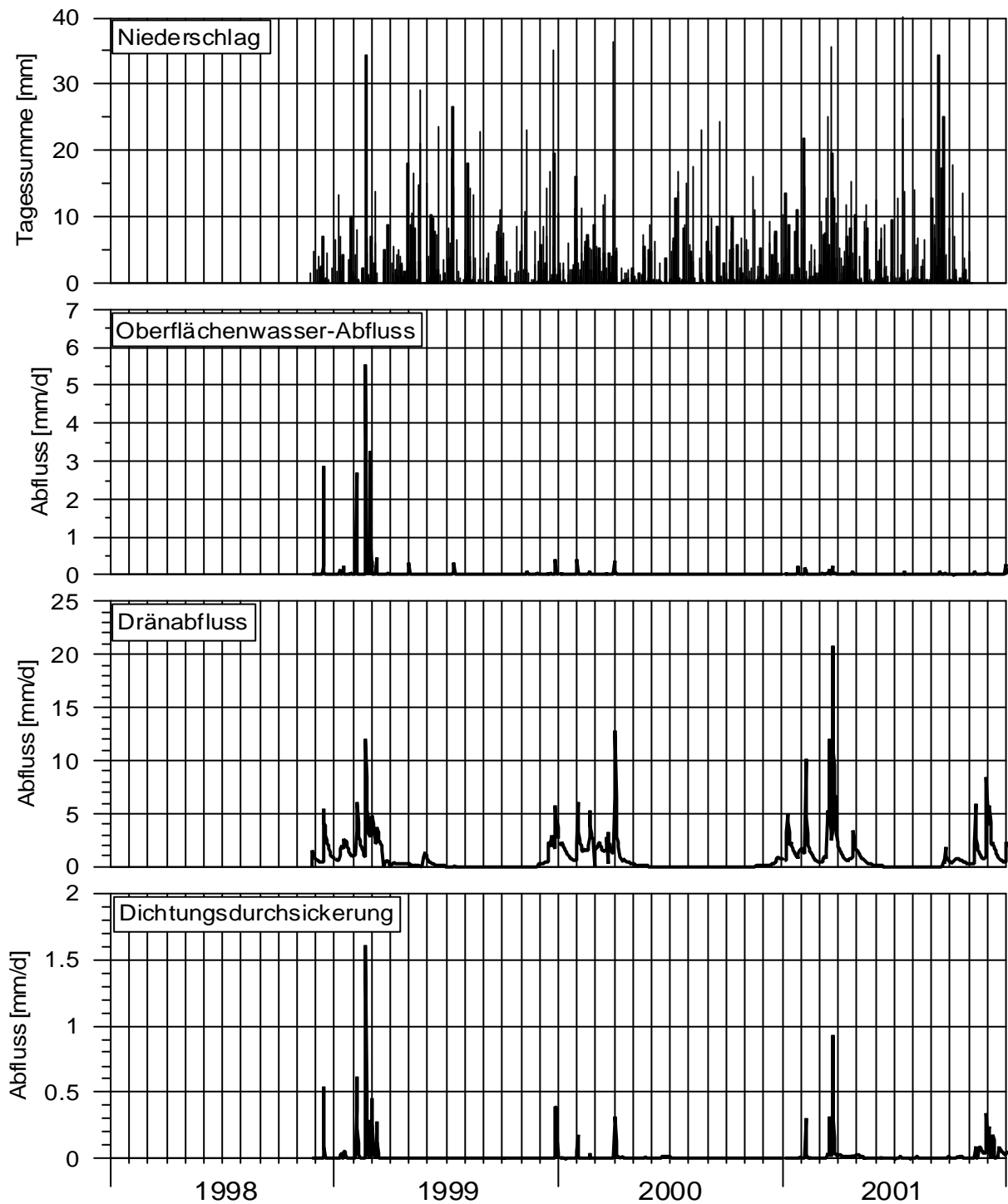


Abbildung 2: Tageswerte des Niederschlags und der Abflüsse 1998 - 2001.

Die zeitlich hoch auflösenden Messungen der Abflüsse ermöglichen Aussagen über die kurzzeitigen Spitzenwerte des Dränabflusses. Im Zuge der spätwinterlichen Dauerregenperiode vom 21.03. - 23.03.2001 fielen innerhalb von 3 Tagen 70 mm Niederschlag. Mit einer Phasenverschiebung von ca. 12 Stunden kam es zu einem Dränabfluss von 41 mm. Der höchste Tageswert der Dränabfluss-Spende betrug 2,4 [l/(s*ha)]. Das kurzzeitige Maximum der Dränabfluss-Spende erreichte dabei einen Wert von 3,1 [l/(s*ha)].

3.3 Durchsickerung der Bentonitmatte

Die Durchsickerung der Bentonitmatte wird im Versuchsfeld mit hoher Auflösung gemessen. Die Tagessummen der Abflüsse sind aus Abbildung 2 zu ersehen. Bei Betrachtung des Diagramms ist zu beachten, dass zur Darstellung der Dichtungsdurchsickerung ein erheblich vergrößerter Maßstab verwendet wurde.

Es ist deutlich zu erkennen, dass nur an wenigen Tagen im Beobachtungszeitraum eine Durchsickerung der Bentonitmatte stattfindet. Der Sickerabfluss ist nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, proportional zum Dränabfluss, sondern er ist auf einige diskrete Durchsickerungsereignisse beschränkt. Diese Sickerabfluss-Ereignisse finden synchron zu Dränabfluss-Maxima von >5 mm/d statt. Der höchste Tageswert des Sickerabflusses beträgt 1,6 mm/d und findet im Februar 1999 gleichzeitig mit einem Dränabfluss von 12 mm/d statt. Das wesentlich höhere Dränabfluss-Ereignis vom März 2001 führt dagegen nur zu einer Dichtungsdurchsickerung von 0,9 mm/d. Zwischen den einzelnen Abfluss-Ereignissen kommt der Sickerabfluss vollständig zum Erliegen.

Die Sickerabfluss-Summe für den Beobachtungszeitraum November 1998 bis Oktober 2001 beträgt 15,1 mm. Bezogen auf die Niederschlagssumme von 2884 mm im gleichen Zeitraum entspricht das einem Anteil von 0,5%.

	Niederschlag	Oberflächenabfluss	Dränabfluss	Durchsickerung der Bentonitmatte
Winter 1998/99	305,5 mm	25,2 mm	239,6 mm	7,0 mm
Sommer 1999	537,7 mm	1,2 mm	23,7 mm	0,3 mm
Winter 99/2000	525,3 mm	3,2 mm	228,0 mm	1,8 mm
Sommer 2000	354,8 mm	0,4 mm	45,8 mm	1,5 mm
Winter 2000/01	538,3 mm	2,4 mm	243,9 mm	3,0 mm
Sommer 2001	565,1 mm	0,7 mm	65,9 mm	1,2 mm
Gesamtsumme	2884,4 mm	33,1 mm	862,9 mm	15,1 mm
Anteil am Gesamtniederschlag		1,1%	29,9%	0,5%

Tabelle 1: Wasserbilanz des Versuchsfeldes. (Sommer = Mai - Oktober; Winter = November - April)

3.4 Messungen der Bodenfeuchte in der Rekultivierungsschicht

Mit Hilfe des FDR-Sonden – Messprofils lässt sich die zeitliche Entwicklung der Wassergehalte des Bodens beobachten. FDR-Sonden messen die scheinbare Dielektrizitätskonstante des Bodens, aus der sich nach bodenspezifischer Kalibrierung des Geräts der volumetrische Wassergehalt berechnen lässt.

In der Geotechnik wird der Wassergehalt von Böden üblicherweise auf die Trockenmasse bezogen: (gravimetrischer Wassergehalt $W_G = \text{Masse des Wassers} / \text{Trockenmasse des Bodens}$). In der Bodenkunde ist dagegen zumeist die Frage nach der Wassermenge in einem Bodenvolumen entscheidend. Daher wird hier der Wassergehalt auf das Volumen bezogen: (volumetrischer Wassergehalt $W_V = \text{Volumen des Wassers} / \text{Bodenvolumen}$). Beide Wassergehaltsangaben stehen über folgende Umrechnung zueinander in Beziehung:

$$W_G = W_V \cdot (\rho_w / \rho_B),$$

wobei ρ_w = Dichte des Wassers, und ρ_B = Trockendichte des Bodens ist.

Die Ergebnisse der FDR-Sonden – Messungen sind in Abbildung 3 graphisch zusammengefasst. Qualitativ zeigen alle 4 FDR-Sonden im Untersuchungszeitraum das gleiche Verhalten:

- Im Sommerhalbjahr sinken die Wassergehalte auf ein niedriges Niveau ab und verbleiben dann mit geringen Schwankungen im Bereich des Minimalwertes ($W_V = 10\% - 14\%$).
- Im Winterhalbjahr steigen die Wassergehalte jeweils deutlich an – allerdings mit erheblichen Unterschieden im Detail:
 - Die im schluffigen Sand des Oberbodens eingebaute FDR-Sonde Nr. 4 zeigt im Winter Wassergehalte W_V von 30% - 35% an. Der Anstieg des Bodenwassergehalts beginnt hier jeweils im Oktober, und damit deutlich eher als in den tieferen Bodenzonen (FDR-Sonden 1 – 3)
 - Die übrigen, im schwach schluffigen Sand des Unterbodens eingebauten FDR-Sonden registrieren im Winter Wassergehalte W_V von 14% - 20%. Die systematischen Unterschiede werden vermutlich durch örtlich unterschiedliche Bodenbeschaffenheit und –verdichtung verursacht.
 - Alle Messkurven zeigen im Winter mehrere spitze Maxima, die auf kurzzeitige Erhöhungen des Bodenwassergehalts während einzelner Niederschlagsereignisse zurückzuführen sind.

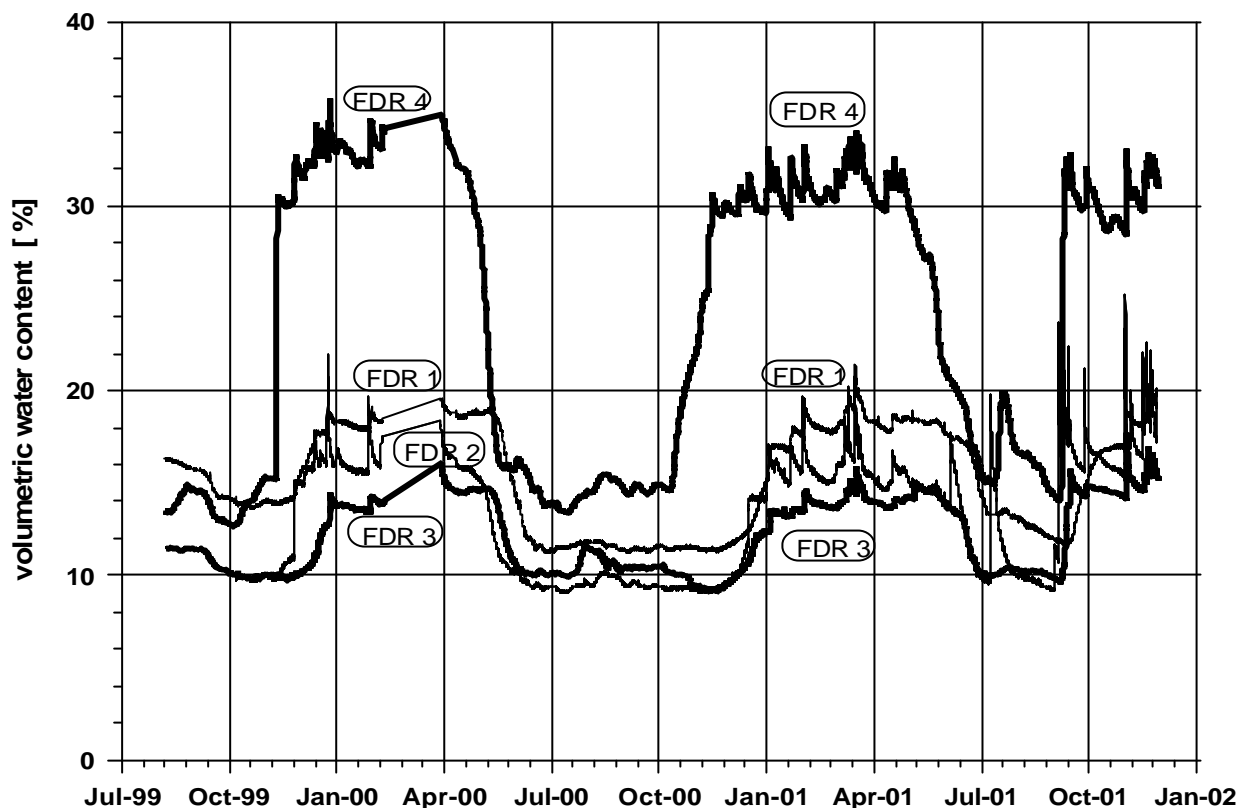


Abbildung 3: Ergebnisse der Bodenwassergehaltsmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht zwischen 0,2 m (FDR 4) und 0,8 m Tiefe (FDR 1).

Die Amplitude der FDR-Messkurven zwischen Sommer und Winter ist ein Maß dafür, wieviel Wasser die jeweilige Bodenschicht im Winter aufnehmen bzw. im Sommer wieder abgeben kann. Bei dem schluffigen Oberboden liegt die Differenz der Bodenfeuchte (Winter: ca. 32% - Sommer: ca. 14%) bei $\Delta W_V = 18\%$. Der schwach schluffige Unterboden kann dagegen nur $\Delta W_V = 4\% - 6\%$ Wasser speichern und wieder verfügbar machen (Winter: $W_V = 14\% - 18\%$; Sommer: $W_V = 10\% - 12\%$).

4 Diskussion

4.1 Funktionen der Rekultivierungsschicht

Die Rekultivierungsschicht erfüllt wichtige Funktionen zur Regelung des Wasserhaushalts in Oberflächenabdichtungssystemen: Sie wirkt als Puffer und Zwischenspeicher für Niederschlagswasser. Im Sommerhalbjahr werden die Niederschläge von den oberen Bodenschichten aufgenommen und kurzzeitig gespeichert. Anschließend verdunstet das

Niederschlagswasser wieder, ohne dass es zu Oberflächen- oder Dränabfluss kommt. Gleichzeitig muss die Rekultivierungsschicht so beschaffen sein, dass das darunter liegende Dichtungsmaterial vor Austrocknung geschützt wird.

Im Winterhalbjahr führen die Niederschläge zunächst zur Auffüllung des Bodenwasser-Speichers bis zur Feldkapazität. Weitere Niederschläge, die vom Boden nicht mehr aufgenommen werden können, führen zu Dränabfluss. Die Rekultivierungsschicht dämpft dabei Niederschlagsspitzen und gibt das Wasser nach und nach an die Dränschicht ab.

4.2 Wirksamkeit des Drän-Geokomposit

Die Dränschicht innerhalb eines Oberflächenabdichtungssystems hat die Aufgabe, das Wasser abzuführen, das aus der Rekultivierungsschicht nach unten absickert. Die hydraulische Beanspruchung der Dränschicht ist dabei, neben den standortspezifischen Witterungsbedingungen, vor allem vom Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht abhängig.

Gemäß GDA-Empfehlung E 2-20: "Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen" (GDA, 1998) ist davon auszugehen, dass Rekultivierungsschichten aus schwach bindigen Böden mit nicht zu hoher Lagerungsdichte ein gutes Wasserspeichervermögen aufweisen, so dass sich relativ niedrige Sickerwasserspenden ergeben. Bei sandigen Rekultivierungsschichten und geringem Bewuchs sind dagegen hohe Sickerwasserspenden zu erwarten, wobei die GDA-Empfehlung E 2-20 Tagesspitzenwerte von bis zu 25 mm/d nennt.

Diese letztgenannte Situation ist in dem hier beschriebenen Versuchsfeld mit sandiger Rekultivierungsschicht und in den ersten Jahren noch nicht voll ausgebildeter Vegetation gegeben. Die kontinuierlichen Niederschlags- und Abflussmessungen lassen qualifizierte Aussagen über die Beanspruchung der Entwässerungsschicht zu:

Sommerniederschläge, auch Starkniederschläge werden von einer 1 m mächtigen, sandigen Rekultivierungsschicht vollständig gespeichert und über Evapotranspiration wieder an die Atmosphäre abgegeben. Sommerniederschläge führen in aller Regel nicht zur Bildung von Dränabfluss. Sommerniederschlagshöhen sind daher unter mitteleuropäischen Klimabedingungen für die Bemessung von Dränschichten unterhalb von bewachsenen Rekultivierungsschichten von mindestens 1 m Mächtigkeit nicht relevant. Nur im Bauzustand

können sich Sommerniederschläge nachteilig auf die offenliegende Entwässerungsschicht auswirken.

Die Bildung von Dränabfluss ist auf das hydrologische Winterhalbjahr konzentriert. Die Maxima des Dränabflusses treten im Zuge ergiebiger winterlicher Dauerregen-Ereignisse auf, nachdem der Boden vollständig durchfeuchtet ist. In der bisherigen Beobachtungszeit mit außergewöhnlich feuchten Winterhalbjahren (Halbjahres-Niederschlagssummen von ca. 520 mm) betrug der maximale Tageswert des Dränabflusses 21 mm/d. An 99% aller Tage wird der Abflusswert von 5 mm/d unterschritten. Diese für den ungünstigen Fall einer sandigen Rekultivierungsschicht real gemessenen Werte liegen unter den in der GDA-Empfehlung E 2-20 genannten Werten (Tagesspitzenwert: 25 mm/d; an 99% aller Tage Unterschreitung von 10 mm/d). Die in der GDA-Empfehlung E 2-20 genannten Sickerwasserspendsen sind daher – unter Voraussetzung einer mindestens 1 m mächtigen Rekultivierungsschicht – bei üblichen deutschen Klimaverhältnissen als auf der sicheren Seite liegend anzusehen.

4.3 Wirksamkeit der Bentonitmatte

Im bisherigen Beobachtungszeitraum sind 15,1 mm (= 0,5% der Niederschlagssumme) durch die Bentonitmatte hindurchgesickert. Somit erfüllt die Bentonitmatte bislang ihre Aufgabe als Dichtungselement innerhalb des Oberflächenabdichtungssystems. Eine endgültige Bewertung der Wirksamkeit der eingesetzten Bentonitmatte kann erst am Ende des 5-jährigen Beobachtungszeitraumes erfolgen. Die zeitlich hochauflösenden Niederschlags- und Abflussmessungen geben jedoch bereits jetzt Aufschlüsse über den Mechanismus der Durchsickerung der Bentonitmatte. Die Durchsickerung der Bentonitmatte ist auf wenige, diskrete Ereignisse im Beobachtungszeitraum beschränkt. Wie die Gegenüberstellung der Niederschläge und Abflüsse zeigt, findet nur dann ein Sickerwasserabfluss statt, wenn gleichzeitig der Dränabfluss Werte von ca. 5 mm/d überschreitet. Bei niedrigeren Dränabflüssen findet keine Durchsickerung der Bentonitmatte statt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass bei geringen Dränabflüssen der hydraulische Gradient über der Bentonitmatte zu gering ist, um überhaupt eine Durchströmung der Bentonitmatte in Gang zu setzen.

Ähnliche Langzeit-Untersuchungen der Wirksamkeit eines Oberflächenabdichtungssystems mit Bentonitmatte wurden an der Deponie Mengersgereuth-Hämmern (Thüringen) durchgeführt (Siegmond et al., 2001). Das Profil besteht hier aus 85 cm Rekultivierungsschicht, 25 cm Dränschicht, wobei die unteren 10 cm aus Sand 0/5 bestehen

und darunter einer Ca-Bentonitmatte als Dichtungselement. Hier wurden Durchsickerungen von 3,6 - 5,3 mm/a (bzw. 0,3% - 0,7% des jeweiligen Jahresniederschlages) gemessen, die, wie auch in Aurach, im wesentlichen auf das Winterhalbjahr beschränkt sind.

5 Zusammenfassung

Mit dem Forschungsvorhaben E 50 wird ein alternatives Oberflächenabdichtungssystem untersucht, dessen zentrale Bestandteile eine Bentonitmatte und ein Drän-Geokomposit sind. Hierzu wurde auf der Deponie "Im Dienstfeld", Landkr. Ansbach, ein 520 m² großes Versuchsfeld errichtet, an dem die relevanten Wasserabflüsse sowie die Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen innerhalb des Abdichtungssystems kontinuierlich gemessen werden können.

Vorrangiges Ziel der Untersuchungen ist es, die Wirksamkeit eines Oberflächenabdichtungssystems mit Geokunststoffen im Langzeit-Feldversuch zu testen und dabei auch die Funktionstüchtigkeit der einzelnen Komponenten (Bentonitmatte, Drän-Geokomposit) detailliert zu erfassen.

Seit November 1998 laufen die kontinuierlichen Messungen im Versuchsfeld, die mit großer Zuverlässigkeit und Präzision Daten liefern über den Niederschlag, die relevanten Wasserabflüsse und den Wasserhaushalt innerhalb der Rekultivierungsschicht und der Bentonitmatte. Die Messungen der Wasserabflüsse (Oberflächenabfluss (A_O), Dränabfluss (A_D), Sickerwasserabfluss (A_{SW} = Durchsickerung der Bentonitmatte)) lässt nach einem Beobachtungszeitraum von 3 Jahren vorläufige Schlussfolgerungen zu:

Oberflächenabfluss fand vor allem im ersten Winterhalbjahr statt, als die Vegetation noch nicht vollflächig ausgebildet war. Danach sind nur noch Oberflächenabflüsse von < 1mm/d zu verzeichnen. Sommerniederschläge, auch heftige Gewitterschauer, führen nicht zu messbaren Oberflächenabflüssen.

Die Bildung von Dränabfluss ist auf das hydrologische Winterhalbjahr konzentriert. Der Dränabfluss beträgt 30% der Niederschlagssumme im bisherigen Beobachtungszeitraum. Die Maxima des Dränabflusses treten im Zuge ergiebiger winterlicher Dauerregen-Ereignisse auf, nachdem der Boden vollständig durchfeuchtet ist. In der bisherigen Beobachtungszeit mit außergewöhnlich feuchten Winterhalbjahren (Halbjahres-Niederschlagssummen von ca. 520 mm) betrug der maximale Tageswert des Dränabflusses 21 mm/d.

Sommerniederschläge führen dagegen in aller Regel nicht zur Bildung von Dränabfluss. Sommerniederschlagshöhen sind daher unter mitteleuropäischen Klimabedingungen für die Bemessung von Dränschichten unterhalb von bewachsenen Rekultivierungsschichten von mindestens 1 m Mächtigkeit nicht relevant. Nur im Bauzustand können sich Sommerniederschläge nachteilig auf die offenliegende Entwässerungsschicht auswirken. Die Untersuchungsergebnisse machen deutlich, dass die Bemessung von Dränschichten von einem ganz grundsätzlich anderen Prozess der Abflussbildung ausgehen muss als z.B. die Abflussberechnung im Siedlungswasserbau.

Im bisherigen Beobachtungszeitraum sind 0,5% der Niederschlagssumme durch die Bentonitmatte hindurchgesickert. Somit erfüllt die Bentonitmatte bislang ihre Aufgabe als Dichtungselement innerhalb des Oberflächenabdichtungssystems. Eine endgültige Bewertung der Wirksamkeit der eingesetzten Bentonitmatte ist erst zum Ende des Gesamt-Beobachtungszeitraums möglich.

Die Untersuchungen machen deutlich, dass zwischen der Funktion und der Wirksamkeit der einzelnen Komponenten eines Deponie-Oberflächenabdichtungssystems erhebliche gegenseitige Abhängigkeiten und Wechselwirkungen bestehen. Jede Systemkomponente hat ihre spezielle Wirkungsweise, und verlangt nach entsprechenden Randbedingungen, die vom System als Ganzes einzuhalten sind: Ebenso, wie für die Bemessung eines Drängeekomposits u.a. Kenntnisse über Art und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht, über das örtliche Klima und die Geometrie der Deponieoberfläche erforderlich sind, so sind Rekultivierungsschicht und Dränschicht auch sorgfältig im Hinblick auf die langfristige Wirksamkeit der Bentonitmatte zu planen. Die hier vorgestellte Untersuchung soll einen Beitrag leisten zum besseren Verständnis der notwendigen System-Randbedingungen für einen wirtschaftlichen Entwurf und zugleich für die langfristig sichere Funktion von Drängeekomposits und Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungssystemen.

Danksagung

Die Forschungsprojekte auf der Deponie "Im Dienstfeld" finden im Auftrag und mit Finanzierung durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen statt. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Literatur

DGGT – Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (1997), GDA-Empfehlungen – Geotechnik der Deponien und Altlasten. 3. Auflage 1997 Verlag Ernst & Sohn.

DIBt – Deutsches Institut für Bautechnik (1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. Veröffentlicht im Anhang: GDA-Empfehlungen, Geotechnik der Deponien und Altlasten 3. Auflage 1997, Verlag Ernst & Sohn, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Egloffstein, T. (2000): Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien. - Diss. Univ. Karlsruhe. - ICP Eigenverlag, Karlsruhe.

EU – Deponierichtlinie (1999): Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien.

Flügge, F. (2000): Perspektiven für den Einsatz von GTD durch Verwendung von Calcium-Bentonit. – Müll und Abfall, 8/2000, 488 – 493.

Herold, C. (1998): "Die bauaufsichtliche Zulassung von Bentonitmatten als Dichtungselement für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien nach Deponieklasse I der TA Siedlungsabfall". - Müll und Abfall, 5/1998, S. 303 - 315.

Melchior S. (1999): Bentonitmatten als Elemente von Oberflächen-Abdichtungssystemen. – in: Knipschild (Hg.): 15. Fachtagung des SKZ "Die sichere Deponie", Würzburg, 2/1999.

Siegmund, M., Witt, K.J. & Alexiew, N 2001. Calcium-Bentonitmatten unter Feuchtigkeitsänderungen. In: Floss (ed.), 7. Informations- und Vortragstagung Kunststoffe in der Geotechnik, geotechnik Sonderband 2001: 97 - 104.

TA Siedlungsabfall (1993): Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (14.05.1993, Beil. Bund. Anz. Nr. 99).