

Oberflächenabdichtungen im Test – Versuchsfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“

Dr. Ulrich Henken-Mellies, LGA Grundbauinstitut

1 Einführung

An Oberflächenabdichtungen werden je nach ihrer Zweckbestimmung und dem entsprechenden zugrunde liegenden Verordnungsrahmen unterschiedliche Anforderungen gestellt:

- Deponien, die der Deponieverordnung (DepV) bzw. der Abfallablagerungsverordnung unterliegen, sind nach der Verfüllung mit einem Oberflächenabdichtungssystem nach DepV bzw. TASI zu versehen. Neben dem Regelsystem nach Anhang 1 DepV bzw. TASI Nr. 10.4.1.4 sind auch gleichwertige Systemkomponenten möglich.
- Bei Hausmülldeponien, in denen unbehandelter Siedlungsabfall abgelagert wurde, und in denen infolge der biologische Umsetzungsprozesse erhebliche Setzungen und Sackungen stattfinden, werden zunächst temporäre Oberflächenabdichtungen aufgebracht, die nicht an die Vorgaben der DepV gebunden sind. Die temporären Abdichtungen können jeweils deponiespezifisch auf den Einzelfall bezogen optimiert werden, vor allem unter den Gesichtspunkten Kosten, Langlebigkeit, Wasserdurchlässigkeit, Integrierbarkeit in das endgültige Abdichtungssystem.
- Altablagerungen werden je nach ihrem Gefährdungspotenzial mit einer an die örtlichen Gegebenheiten angepassten Oberflächenabdeckung oder –abdichtung versehen.

Es gibt demzufolge einen Bedarf für unterschiedliche Oberflächenabdichtungssysteme und Komponenten. Welche alternativen Dichtungsschichten sind als gleichwertig zu den entsprechenden Komponenten des Regelsystems zu bezeichnen? Welche Vorteile und Schwächen haben die einzelnen Komponenten bzw. die Systeme? Wie ist jeweils die langfristige Beständigkeit und Wirksamkeit einzuschätzen? Für alle Beteiligten (Deponiebetreiber, Behörden, Planungsbüros) ist es wichtig, zuverlässige Antworten auf diese Fragen zu erhalten.

Die Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungen kann auf unterschiedliche Weisen beurteilt werden: Mit Modellrechnungen (z.B. HELP, Berger, 2002 oder BOWAHALD, Dunger, 2001) kann der Wasserhaushalt von Abdichtungssystemen überschlägig abgeschätzt werden. Aufgrabungen und geotechnische Untersuchungen an bestehenden Oberflächenabdichtungen liefern wichtige Erkenntnisse über den Status quo der betreffenden Abdichtung nach mehrjähriger Beanspruchung (z.B. Rödl et al., 2002; Eberle, 2004). Auswertungen von

Deponiejahrbüchern liefern Daten zum Sickerwasseranfall unterschiedlich abgedichteter Altdeponien (z.B. Ehrig & Krümpelbeck, 1999; Huber et al, 2002). Langzeitbeobachtungen an Großlysimeter-Versuchsfeldern erbringen umfassende, kontinuierliche Informationen über den Zustand, den Wasserhaushalt und die relevanten Prozesse in den Schichten des Abdichtungssystems.

In Bayern werden in diesem Zusammenhang, gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, eine Reihe von Forschungsvorhaben mit Großlysimeter-Feldversuchen durchgeführt:

- Untersuchung einer mineralischen Oberflächenabdichtung; Deponie „Im Dienstfeld“, Lkr. Ansbach (Versuchsdurchführung: LGA-Grundbauinstitut) Projekt „E 35“,
- Untersuchung eines alternativen Oberflächenabdichtungssystems mit Geokunststoffen (GTD, Drän-Geokomposit); Deponie „Im Dienstfeld“, Lkr. Ansbach (LGA-Grundbauinstitut) Projekt „E 50“,
- Untersuchung einer Oberflächenabdichtung mit Kapillarsperre; Deponie „Heinersgrund“, Lkr. Bayreuth (LMU, München; BEN, Bayreuth) Projekt „E 54“,
- Untersuchung einer mineralischen Oberflächenabdichtung; Deponie „München Nord-West“ (UniBW, München; AquaSoli, München) Projekt „F 166“.

Im Folgenden wird über die Ergebnisse der durch das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen geförderten Deponieforschungsprojekte auf der Deponie "Im Dienstfeld" (Landkreis Ansbach) berichtet.

2 Versuchsfelder

2.1 Versuchsfeld 1: Einfache mineralische Oberflächenabdeckung

Im ersten Testfeld (Projekt E 35) wird die Wirksamkeit einer 1,5 m mächtigen Abdeckung aus bindigem Bodenmaterial untersucht, wie sie in den 1980er Jahren entsprechend dem "LAGA-Deponiemerkblatt" auf den Einbauabschnitten I und II der Deponie „Im Dienstfeld“ aufgebracht wurde: Über einer Ausgleichsschicht mit diagonal zur Böschung verlaufenden Entgasungsrigolen wurde eine 1,5 – 2,0 m mächtige bindige Bodenschicht aus dem örtlich anstehenden tonig-schluffigen Sand (Keupersandstein-Zersatz) aufgebracht. Dabei gab es keine Vorgaben bezüglich Verdichtungsgrad und Qualitätsüberwachung. Die Flächen wurden anschließend mit einer Grasansaat begrünt. Diese Art der Oberflächenabdeckung kann für viele ältere Deponieabdeckungen als typisch gelten.

Auf der Deponie „im Dienstfeld“ wurde das Großlysimeter-Versuchsfeld mit einer Größe von 26m x 20m in Form einer mit PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen wasserdicht ausgekleideten Wanne errichtet. Das Versuchsfeld enthält zuunterst eine Entwässerungsschicht zur Abführung des durch den Testaufbau hindurchgesickerten Wassers. Darüber ist im Versuchsfeld das Bodenmaterial der Deponieabdeckung in gleicher Qualität und Mächtigkeit eingebaut, wie es dort vorgefunden wurde:

- Bodenmaterial: schwach kiesiger, schwach toniger, schluffiger Sand.
- Verdichtungsgrad: im Mittel 92% der Proctordichte.
- Wasserdurchlässigkeitswerte: 10^{-7} bis 10^{-10} m/s, überwiegend: $k < 5 \cdot 10^{-9}$ m/s.

So stellt das Versuchsfeld einen repräsentativen Ausschnitt aus der bestehenden mineralischen Abdeckung der Deponie dar. Das Versuchsfeld liegt im Bereich der Südböschung der Deponie (Neigung ca. 20%). Der Profilaufbau ist in Abbildung 1 gezeigt.

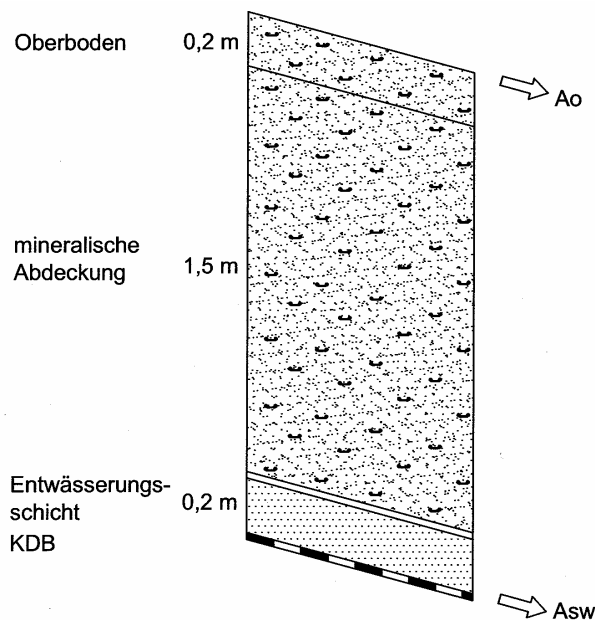


Abbildung 1: Profilaufbau des 1. Versuchsfeldes (einfache Oberflächenabdeckung).

2.2 Versuchsfeld 2: Abdichtungssystem mit Bentonitmatte und Dränmatte

Im zweiten Großlysimeter-Versuchsfeld (Projekt E 50) auf der gleichen Deponieböschung wird ein alternatives Oberflächenabdichtungssystem mit Geokunststoffen untersucht. Unter der 1,0 m mächtigen Rekultivierungsschicht (0,2 m humoser, lehmiger Oberboden; 0,8 m schwach schluffiger Sand als Unterboden) befinden sich eine Drän-Geokomposit und eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD), so dass die Mächtigkeit des Abdichtungssystems

gegenüber dem Regelaufbau nach TASI um 0,75 m reduziert ist. Es wurde eine GTD mit Ca-Bentonit verwendet, die ein Flächengewicht von 9500 g/m² aufweist. Die Permittivität der GTD beträgt 8×10^{-9} [s⁻¹]. Der Profilaufbau des Versuchsfeldes ist aus Abbildung 2 zu ersehen.

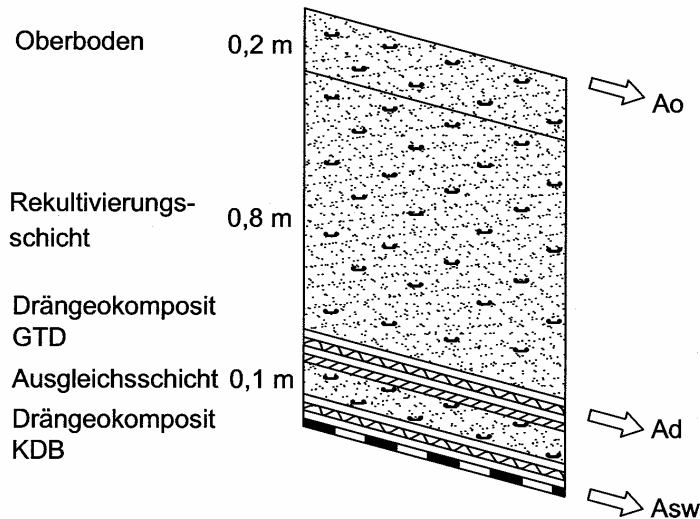


Abbildung 2: Profilaufbau des 2. Versuchsfeldes: Oberflächenabdichtungssystem mit Geokunststoffen (Drän-Geokomposits und GTD).

2.3 Versuchsfeld 3a und 3b: Mineralische Abdichtung (DK I) mit erhöhter Dicke der Rekultivierungsschicht

Um die Wirkung mächtigerer Rekultivierungsschichten hinsichtlich der Austrocknungssicherheit mineralischer Dichtungsschichten zu untersuchen, wurden im Jahre 2001, in Fortsetzung des Forschungsprojekts E 35, am Standort „Im Dienstfeld“ zwei neue Testfelder errichtet. Diese neuen Großlysimeter-Testfelder sind mit einer mineralischen Oberflächenabdichtung in Anlehnung an das Regelsystem für Deponieklasse I versehen, wobei Erkenntnisse aus der aktuellen Forschung berücksichtigt wurden: Für die mineralische Dichtungsschicht wurde ein leicht- bis mittelplastischer Ton verwendet, der bei Wassergehalten von 1% - 3% unter dem optimalen Wassergehalt eingebaut wurde. Dies soll nach Ramke et al. (2002) und Horn (2002) dazu dienen, dass die mineralische Dichtung weniger Schrumpfriss-anfällig ist. Das Versuchsfeld ist in 2 Teilfelder unterteilt, in denen über gleichartiger Dichtungs- und Entwässerungsschicht eine unterschiedlich mächtige Rekultivierungsschicht (Schichtdicke 2,0 m bzw. 1,5 m) angeordnet ist. Die Rekultivierungsschicht aus schluffigem, schwach tonigem Sand wurde mit möglichst geringer Verdichtung in 2 Schüttaglagen vor Kopf mit einer Moorwalze von oben nach unten eingebaut.

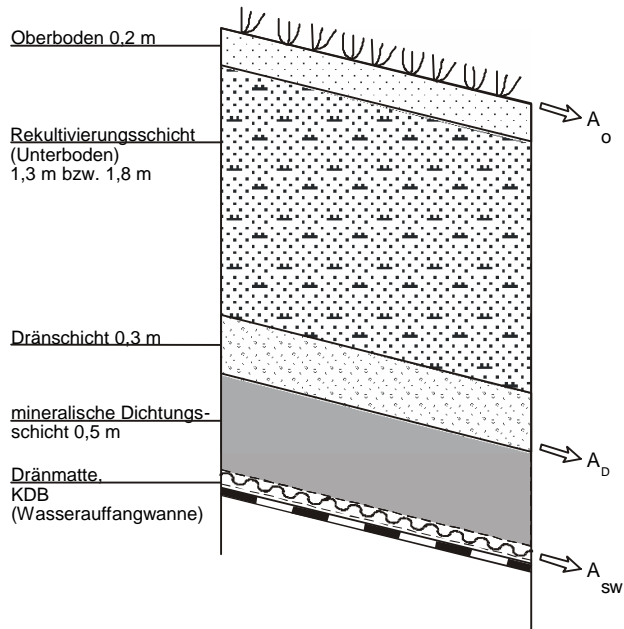


Abbildung 3: Profilaufbau des 3. Versuchsfeldes (Mineralische Abdichtung mit erhöhter Dicke der Rekultivierungsschicht).

2.4 Messtechnische Ausstattung der Versuchsfelder

Die Versuchsfelder sind als Großlysimeter ausgebaut; das heißt, dass die gesamten Wasserabflüsse der Funktionsschichten (Oberflächenabfluss, Dränschichtabfluss, Durchsickerung der Dichtungsschicht) getrennt voneinander erfasst und kontinuierlich in Messcontainern gemessen werden. Neben den Versuchsfeldern befindet sich eine Wetterstation mit Niederschlagsmessgerät, so dass eine vollständige Wasserbilanz für die Versuchsfelder erstellt werden kann. Die Versuchsfelder sind zusätzlich mit in-situ-Messgeräten (Temperatursensoren, Geräte zur Messung der Bodenfeuchte) ausgestattet. Alle Messdaten aus dem Versuchsfeld werden kontinuierlich per PC aufgezeichnet und stehen per Daten-Fernabfrage im LGA-Grundbauinstitut zur Überwachung und Auswertung zur Verfügung.

3 Ergebnisse der Niederschlags- und Abfluss-Messungen

3.1 Versuchsfeld 1 (einfache mineralische Oberflächenabdeckung)

Die kontinuierliche Messung von Oberflächenabfluss und Sickerwasserabfluss im Projekt E 35 erfolgte über einen 4-jährigen Zeitraum von April 1997 bis März 2001. In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflussmessungen als Summenkurven dargestellt (in mm bzw. l/m²). Für den Niederschlag (dicke schwarze Kurve) gilt die linke Ordinate. Die rechte Ordinate für die Abfluss-Messungen ist zur besseren Lesbarkeit der Kurven um den Faktor 4 vergrößert aufgetragen.

Die Jahresniederschläge im Beobachtungszeitraum lagen mit 780 mm bis 970 mm über dem langjährigen Mittelwert von ca. 750 mm. Die Niederschlags-Summenkurve steigt nahezu gleichmäßig an, was der für das humide mitteleuropäische Klima typischen gleichmäßigen Verteilung der Niederschläge über das Jahr entspricht. Bei den Abflüssen sind dagegen deutliche saisonale Unterschiede festzustellen. Die Summenkurven zeigen einen treppenartigen Verlauf mit Plateaus (= keine Abflüsse) in den Sommermonaten und ansteigenden Kurvenabschnitten in den Wintermonaten.

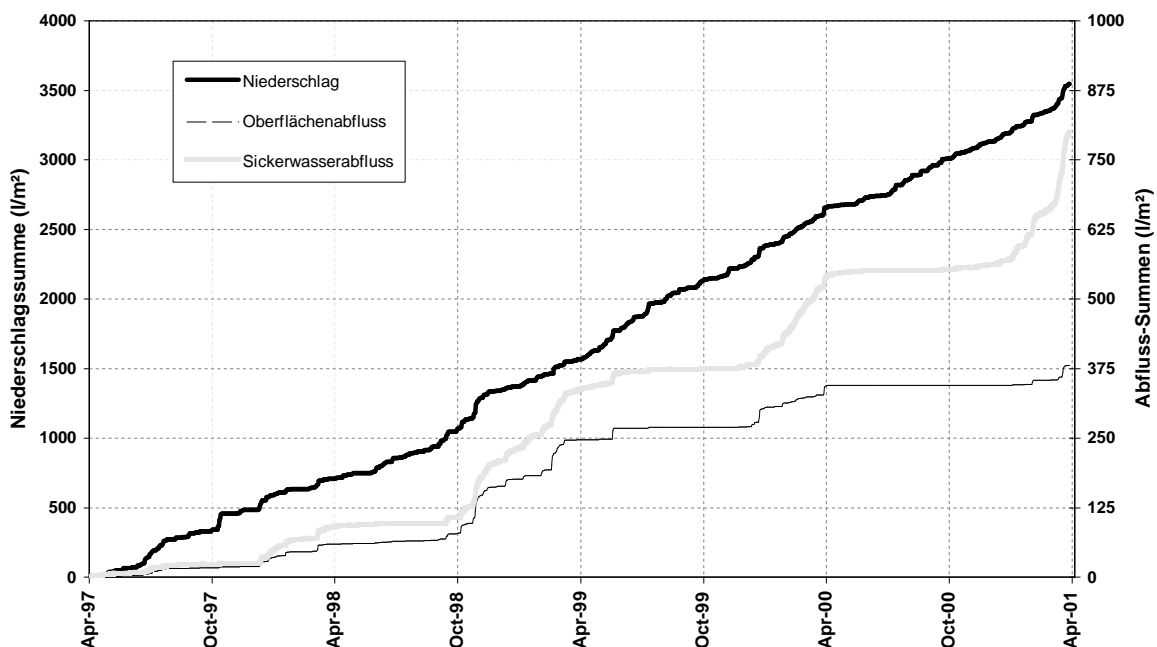


Abbildung 4: Ergebnisse der Niederschlags- und Abfluss-Messungen im Versuchsfeld 1 mit einfacher mineralischer Oberflächenabdeckung.

Oberflächenabfluss tritt vor allem im Zuge ergiebiger Winterniederschläge auf, wenn die Wasseraufnahmekapazität des Bodens erreicht ist. An wenigen Tagen pro Jahr werden

dabei Werte von 5 mm/d überschritten. In den Wintermonaten werden Abfluss-Spitzen von 16 mm/d gemessen. Im Sommer werden dagegen, trotz 20% Hangneigung und einer bindigen Bodenbeschaffenheit, allenfalls minimale Oberflächenabflüsse registriert. Sommerliche Starkniederschläge sind demnach für die Bemessung der Oberflächenwasser-Ableitungssysteme von bewachsenen Deponieoberflächen nicht relevant. Die Jahressummen des Oberflächenabflusses liegen zwischen 36 mm/a (im Beobachtungszeitraum 04/2000 – 03/2001) und 190 mm/a (im Zeitraum 04/1998 – 03/1999).

Sickerwasserabfluss (d.h. eine Durchsickerung der mineralischen Oberflächenabdeckung) findet fast ausschließlich in den Winterhalbjahren (Oktober bis März) statt. Je nach Wettergeschehen in den einzelnen Jahren setzen die Abflüsse bereits im September ein (wie z.B. 1998) oder erst im Dezember (wie z.B. 1997). Der Maximalwert des Sickerwasserabflusses im Beobachtungszeitraum beträgt 17 mm/d. Er wird im Zuge von ergiebigen Niederschlägen im generell sehr regenreichen Monat März 2001 erreicht. Daneben treten in jedem Winter mehrere Sickerwasserabfluss-Ereignisse mit Werten von 5 – 10 mm/d auf. Die Jahressumme der Sickerwasserabflüsse liegt zwischen 90 mm/a im Beobachtungsjahr 04/1997 – 03/1998 und 260 mm/a im Zeitraum 04/2000 – 03/2001.

Generell ist festzustellen, dass der Oberflächenabfluss im Laufe des 4-jährigen Beobachtungszeitraums tendenziell zurückgeht, während der Anteil des Sickerwasserabflusses am Gesamtabfluss zunimmt. Dies weist auf einen Rückgang der Abdichtungsfunktion der verdichtet eingebauten Abdeckungsschicht hin.

3.2 Versuchsfeld 2 (Oberflächenabdichtung mit GTD)

Die Ergebnisse des bisherigen Beobachtungszeitraums von November 1998 bis April 2004 sind als Summenkurven in Abbildung 5 dargestellt. Für den Niederschlag (dicke schwarze Linie) gilt die linke Ordinate. Die rechte Abflüsse, auf der die Abfluss-Summen aufgetragen sind, hat, ebenso wie Abb. 4, eine um den Faktor 4 vergrößerte Skala.

Oberflächenabfluss (dünne schwarze Linie) findet im Versuchsfeld nur in minimalem Umfang statt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die sandige Rekultivierungsschicht ein rasches Einsickern des Niederschlagswassers ermöglicht. Nur im ersten Winter, als noch keine voll ausgebildete Vegetationsdecke vorhanden war, gab es einen nennenswerten Oberflächenabfluss.

Dränabfluss (dicke graue Linie) findet mit deutlicher jahreszeitlicher Differenzierung statt: Die Dränabflüsse konzentrieren sich vor allem auf die Monate Oktober bis März, während in der Zeit von April bis September kaum Dränabflüsse zu verzeichnen sind. Die Summe der Dränabflüsse liegt zwischen 250 mm/a in Jahren mit trockeneren Wintern und 450 mm/a in Jahren mit feuchteren Wintern.

Die Durchsickerung der GTD lag in den ersten Jahren in der Größenordnung von wenigen mm/Jahr. Seit dem Jahr 2001 ist eine Zunahme der Sickerwasserabflüsse auf Jahressummen von 8 – 50 mm/a zu verzeichnen.

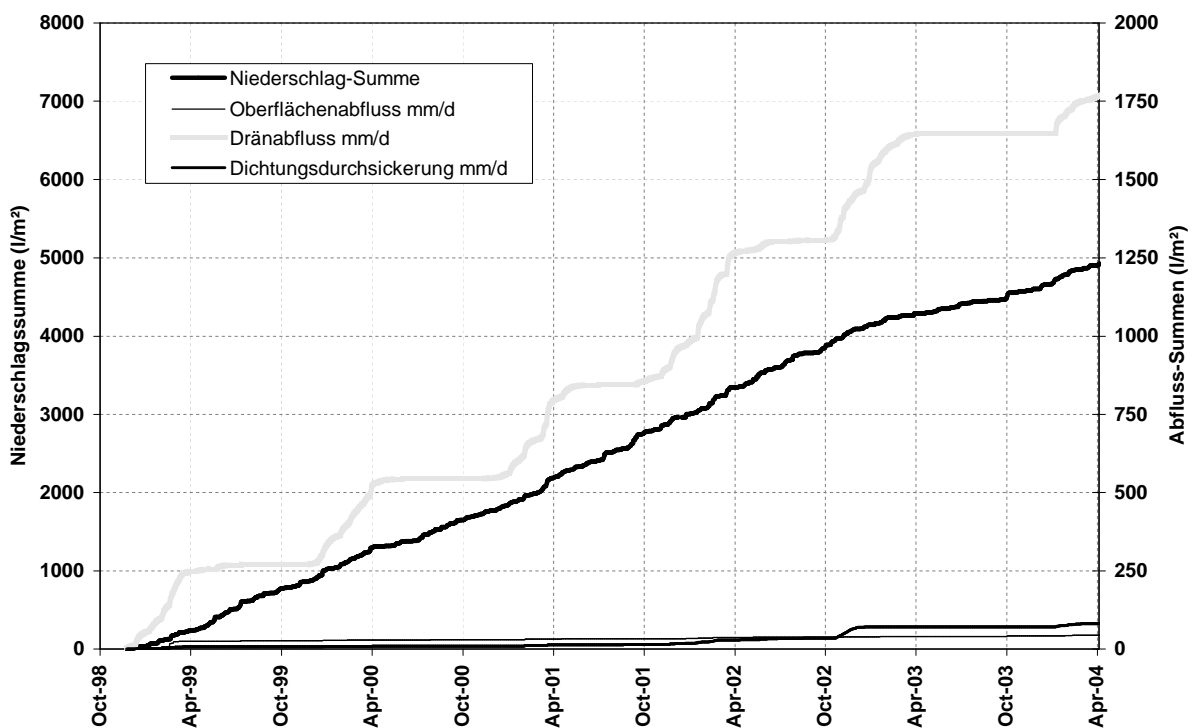


Abbildung 5: Versuchsfeld E 50: Summenkurve des Niederschlags (linke Ordinate) und der Abflüsse (rechte Ordinate) im bisherigen Untersuchungszeitraum.

3.3 Versuchsfeld 3 (mineralisches Oberflächenabdichtungssystem)

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflussmessungen des Versuchsfeldes 3a (mineralische Abdichtung und 2,0 m Rekultivierungsschicht) im bisherigen Messzeitraum (Mai 2002 – Oktober 2004) als Summenkurven-Darstellung in gleicher Art wie bei Abb. 5 beschrieben.

Der Dränabfluss zeigt einen ähnlichen jahreszeitlich differenzierten Verlauf wie bei den Abbildungen 4 und 5. Die Jahressumme des Dränabflusses liegt bei 150 – 190 mm/a. Im Vergleich zum Versuchsfeld 2 (Abb. 5) fällt auf, dass im Versuchsfeld 3 (Abb. 6) die Dränabfluss-Kurve unter der Niederschlags-Summenkurve bleibt. Da die Abflüsse im 4-fach vergrößerten Maßstab aufgetragen sind, heißt dies, dass die Dränabfluss-Summe weniger als 25% der Niederschlagssumme beträgt. Der gegenüber dem Versuchsfeld 2 deutlich geringere Dränabfluss ist auf die höhere Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht (2,0 m gegenüber 1,0 m) und auf die unterschiedliche Bodenart (schluffig-toniger Sand gegenüber schwach schluffigem Sand) zurückzuführen.

Die Sickerwasserabfluss-Summe ist als schwarze gestrichelte Linie gekennzeichnet. Dies ist die Wassermenge, die durch die mineralische Dichtungsschicht hindurchgesickert ist und bei einer Deponie der Klasse I in den Deponiekörper einsickern würde. Im 2 ½ -jährigen Beobachtungszeitraum sind ca. 50 l/m² durch die mineralische Dichtung hindurchgesickert.

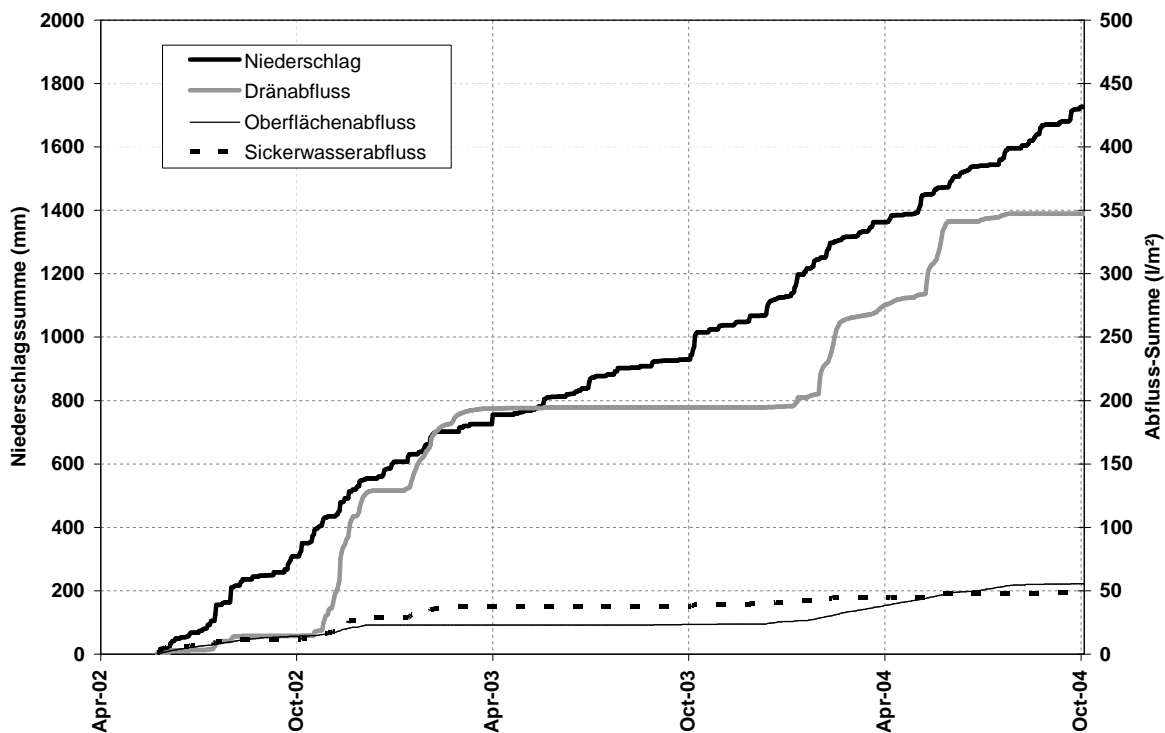


Abbildung 6: Versuchsfeld 3a (Projekt E 35-F): Summenkurve des Niederschlags (linke Ordinate) und der Abflüsse (rechte Ordinate) im bisherigen Untersuchungszeitraum.

4 Ergebnisse der in-situ-Messungen der Bodenfeuchte

Die beiden Teile des Versuchsfeldes 3 (mit 2,0 m bzw. 1,5 m mächtiger Rekultivierungsschicht) sind jeweils mit einem tiefengestaffelten Messprofil von FDR-Sonden (frequency domain reflectometry) zur Messung des volumetrischen Wassergehalts ausgestattet: 5 bzw. 4 FDR-Sonden sind im 40 cm – Abstand in der Rekultivierungsschicht angeordnet; jeweils 2 weitere FDR-Sonden sind in der mineralischen Dichtungsschicht platziert. Die Ergebnisse der Bodenfeuchte-Messungen sind in den Abbildungen 7 und 8 als Ganglinien über den Messzeitraum dargestellt.

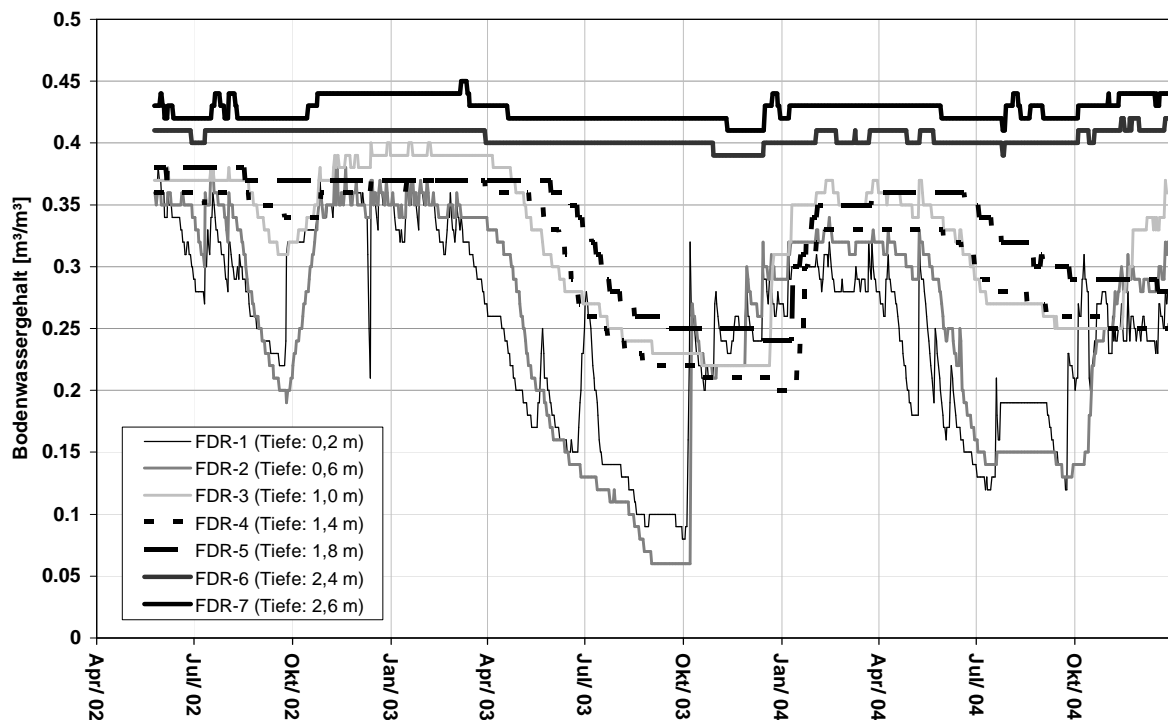


Abbildung 7: Versuchsfeld 3a (Rekultivierungsschichtdicke = 2,0 m): Messungen der Bodenfeuchte mittels FDR-Sonden; Ganglinien des Bodenwassergehalts.

Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Bodenfeuchte-Messungen mittels FDR-Sonden im Beobachtungszeitraum Mai 2002 – Oktober 2004. Auf der Ordinate ist der volumetrische Wassergehalt des Bodens (in m^3/m^3) aufgetragen. Die Rekultivierungsschicht hat im Mai 2002 einen annähernd gleichmäßigen volumetrischen Wassergehalt von $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Bei einer angenommenen Trockendichte des Bodens von $1,75 \text{ t}/\text{m}^3$ entspricht dieser volumetrischer Wassergehalt von $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ einem gravimetrischen Wassergehalt von 20%.

In den beiden obersten FDR-Sonden in 0,2 m bzw. 0,6 m Tiefe (dünne schwarze Kurve bzw. mittelgraue Kurve) nimmt der Bodenwassergehalt im Laufe des Sommers 2002 auf Werte um $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ab. Im Winter 2002/03 steigt der Bodenwassergehalt wieder auf den Ausgangswert von $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ an. Im Frühjahr und Sommer 2003 wiederholt sich die sukzessive Abnahme der Wassergehalte; allerdings geht die Austrocknung im Jahr 2003 wesentlich weiter als im Vorjahr. Im Oktober 2003 steigen die Bodenwassergehalte wiederum sprunghaft an. Die Kurven der Bodenfeuchte zeigen das Resultat der Prozesse, die den Wasserhaushalt des Bodens bestimmen: vor allem sind dies der Wasserentzug durch die Pflanzen (Evapotranspiration) und die Zufuhr von Wasser durch Niederschläge.

Die in größeren Tiefen der Rekultivierungsschicht angeordneten FDR-Sonden zeigen weniger starke Ausschläge als die oberen Sonden. Die unterste Sonde in 1,8 m Tiefe (lang gestrichelte Linie) registriert im Sommer 2002 gleich bleibend hohe Wassergehalte. Im Sommer 2003 dagegen registriert auch sie eine Abnahme des Bodenwassergehalts auf $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Diese Messergebnisse zeigen, dass in einem durchschnittlich feuchten Sommer wie dem des Jahres 2002 der unterste Bereich der 2,0 m dicken Rekultivierungsschicht keine Feuchtigkeitsabnahme zeigt, während im trockenen Sommer 2003 auch aus diesen Tiefen Bodenwasser entzogen wird.

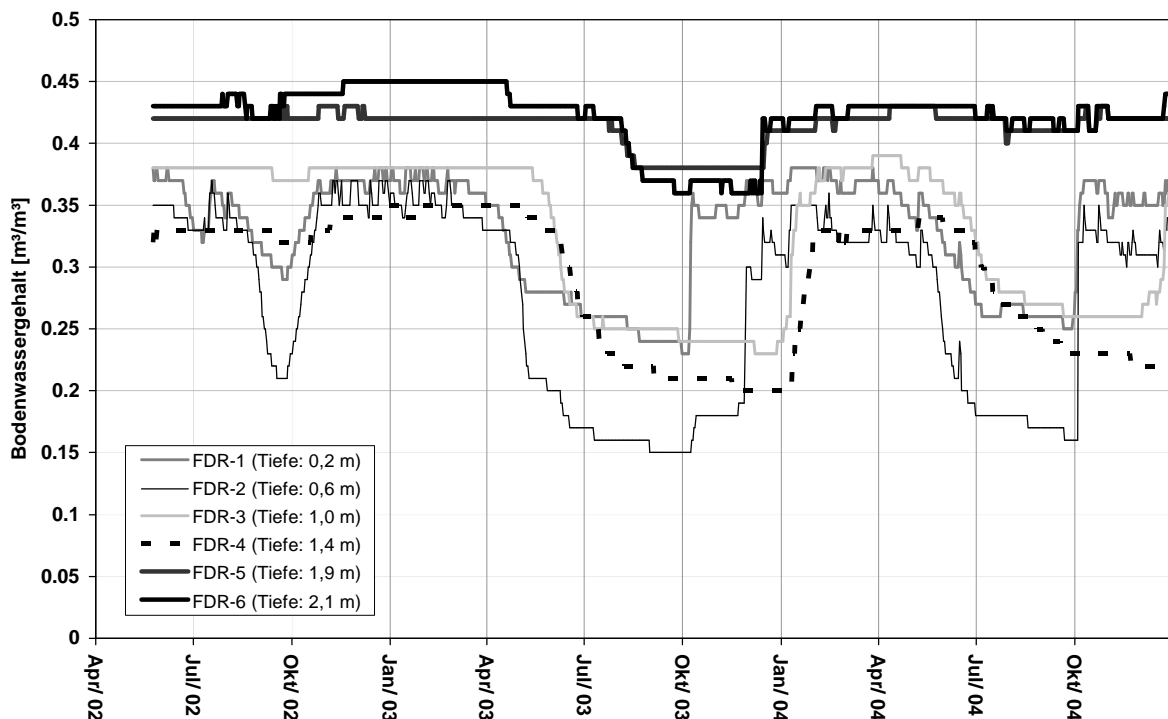


Abbildung 8: Versuchsfeld 3b (Rekultivierungsschichtdicke = 2,0 m): Messungen der Bodenfeuchte mittels FDR-Sonden; Ganglinien des Bodenwassergehalts.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse der kontinuierlichen in-situ-Messungen der Bodenfeuchte im Teilfeld 2 mit 1,5 m dicker Rekultivierungsschicht. Die FDR-Sondenmessungen in der Rekultivierungsschicht zeigen einen ähnlichen Verlauf wie im Teilfeld 1, jedoch zeigt hier die unterste Sonde (in 1,4 m Tiefe) in den Jahren 2003 und 2004 eine starke Austrocknung bis zur Basis der Rekultivierungsschicht an. Die FDR-Sonden in der mineralischen Dichtung (in 1,9 bzw. 2,1 m Tiefe; durchgezogene dicke Linien) zeigen im Sommer 2003 eine deutliche Abnahme der Wassergehalte von 0,43 auf 0,37 m³/m³. Die geringer mächtige Rekultivierungsschicht im Teilfeld 2 führt offenbar dazu, dass auch aus der mineralischen Dichtungsschicht ein Wasserentzug stattfindet.

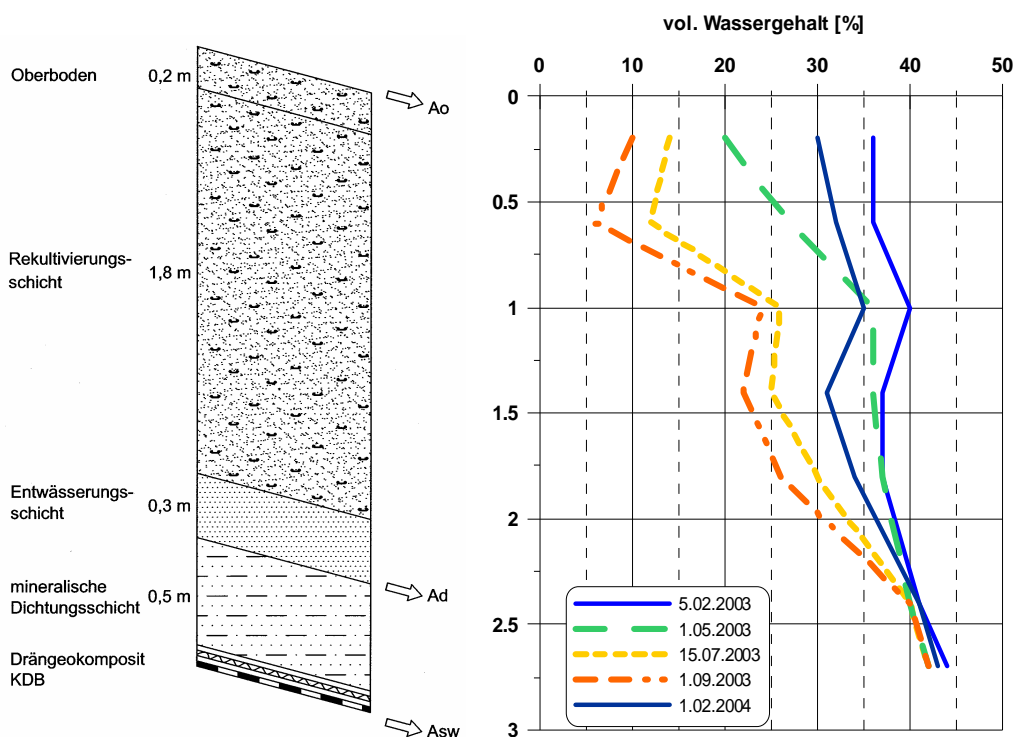


Abbildung 9: Profilskizze des Teilfeldes 1 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 2,0 m mächtiger Rekultivierungsschicht) und Ergebnisse der Wassergehaltmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.

In den Abbildungen 9 und 10 sind Ergebnisse der mittels FDR-Sonden erzielten in-situ-Wassergehaltmessungen als Tiefenprofile dargestellt. Die Diagramme zeigen den volumetrischen Wassergehalt in verschiedenen Tiefen der Rekultivierungsschicht und der mineralischen Dichtungsschicht zu verschiedenen Zeitpunkten der Jahre 2003/2004. Im Februar 2003 (rechte schwarze Linie) waren im gesamten Profil der Rekultivierungsschicht hohe Wassergehalte von 35 - 40 Vol.-% vorhanden. Im Laufe des Sommers ist eine

sukzessive Abnahme der Wassergehalte zu verzeichnen, die sich im September 2003 (graue strickpunktierte Linie) bis zur Tiefe von 1,8 m deutlich auswirkt (Wassergehaltsabnahme um 12% im Teilfeld 1 (Abb. 9) bzw. um 13% im Teilfeld 2 (Abb. 10)). Im Februar 2004 ist annähernd wieder der gleiche Wassergehalt erreicht wie im gleichen Vorjahresmonat.

Die Differenz zwischen dem maximalen Bodenwassergehalt im Frühjahr und dem minimalen im Spätsommer entspricht der nutzbaren Feldkapazität des Bodens. Für die im Versuchsfeld eingebaute Rekultivierungsschicht lassen sich aus den Diagrammen Werte von 15 Vol.-% bis zu 30 Vol.-% für die nutzbare Feldkapazität ablesen. Die Fläche zwischen den Linien des maximalen und des minimalen Wassergehalts ist ein Maß für die im Bodenprofil speicherbare Wassermenge. Im Profil der Rekultivierungsschicht des Teilfeldes 1 lassen sich im oberen Meter ca. 25 Vol.-% Bodenwasser ($\approx 250 \text{ l / m}^3$) und im unteren Meter ca. 15 Vol.-% Bodenwasser speichern. Bezogen auf die Fläche von einem Quadratmeter lassen sich in dem 2 m dicken Profil der Rekultivierungsschicht somit 400 l / m^2 ($\approx 400 \text{ mm}$) Niederschlagswasser zwischenspeichern, die im Sommerhalbjahr durch Evapotranspiration wieder abgegeben werden können. Für das Teilfeld 2 mit 1,5 m dicker Rekultivierungsschicht beträgt die speicherbare Wassermenge ca. 225 l / m^2 .

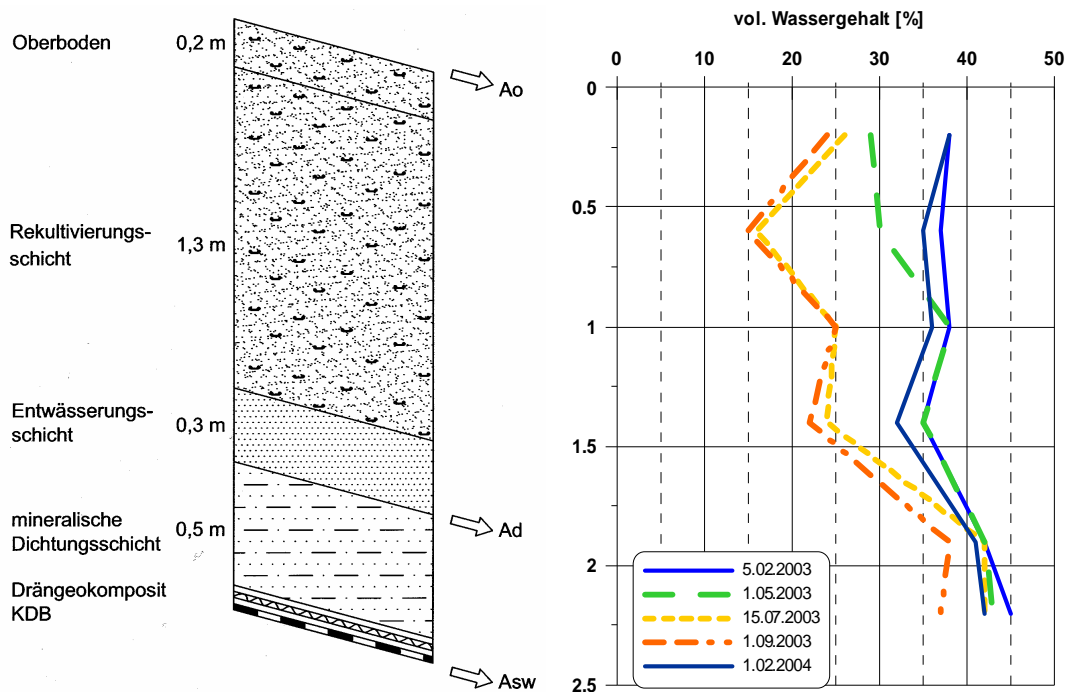


Abbildung 10: Profilskizze des Teilfeldes 2 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 1,5 m mächtiger Rekultivierungsschicht) und Ergebnisse der Wassergehaltmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.

Der unterste Teil der Linien in Abb. 9 und 10 zeigt in der Profildarstellung die Spannbreite der Wassergehalte in der mineralischen Dichtungsschicht. Unter der 2,0 m dicken Rekultivierungsschicht des Teilfeldes 1 (Abb. 9) liegen die Wassergehalts-Linien zu allen Jahreszeiten eng beieinander. Im Fall der 1,5 m dicken Rekultivierungsschicht des Teilfeldes 2 (Abb. 10) wird dagegen deutlich, dass es bei extremer sommerlicher Trockenheit, wie im Jahr 2003, auch in der mineralischen Dichtungsschicht zu einem Rückgang des Wassergehalts kommen kann.

5 Temperaturmessungen im Oberflächenabdichtungssystem

Die Bodentemperaturen der Rekultivierungsschicht und der mineralischen Dichtungsschicht werden ebenfalls kontinuierlich gemessen. Abbildung 11 zeigt die Ganglinien der Bodentemperaturen von 2002 – 2004. In der mineralischen Dichtungsschicht (schwarze Linie; 2,4 m Tiefe) zeigt die Temperaturkurve einen sinusförmigen Verlauf zwischen ca. 8 °C im März und 17-21 °C im August/September. Oberflächennah in der Rekultivierungsschicht ist der Kurvenverlauf unruhiger und zeigt Überprägungen durch Witterungseinflüsse. Deutlich erkennbar ist, dass die Frosteindringtiefe bei < 20 cm liegt.

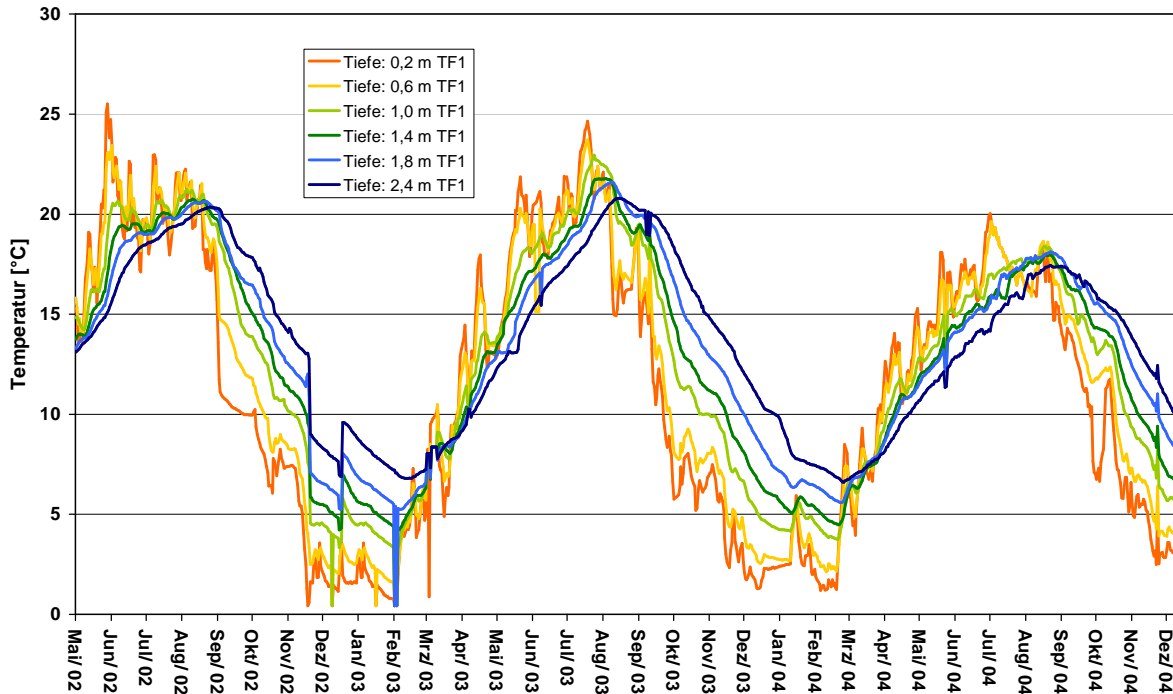


Abbildung 11: Versuchsfeld 3a: Ganglinien der Temperaturmessungen im Oberflächenabdichtungssystem.

6 Diskussion

Die Wasserbilanz der Großlysimeter-Versuchsfelder ist in Abbildung 12 dargestellt. Die Gesamtsumme der Abflüsse liegt in den Versuchsfeldern E 35 (einfache mineralische Oberflächenabdeckung) und E 50 (Oberflächenabdichtung mit GTD) in einer ähnlichen Größenordnung (33% bzw. 37% der jeweiligen Niederschlagssumme), doch zeigt die graphische Gegenüberstellung deutlich, wie sich infolge des unterschiedlichen Schichtenaufbaus der Oberflächenabdichtung die einzelnen Abflussanteile erheblich unterscheiden: Im Versuchsfeld E 50 dominiert der Dränabfluss oberhalb der GTD; im Versuchsfeld E 35, in dem keine Dränschicht vorhanden ist, die das Wasser seitlich abführen könnte, überwiegt der Sickerwasserabfluss. Die übrigen ca. 65% der Niederschlagssumme, die nicht in Form von Abflüssen gemessen wurden, sind als Evapotranspiration wieder an die Atmosphäre abgegeben worden. Im Versuchsfeld 3 (E 35-F) mit einer 2,0 m mächtigen, unter geringer Verdichtung eingebauten Rekultivierungsschicht liegt die Summe der Abflüsse bei ca. 25% des Niederschlags. Hier beträgt die Evapotranspiration demnach ca. 75% der Niederschlagssumme.

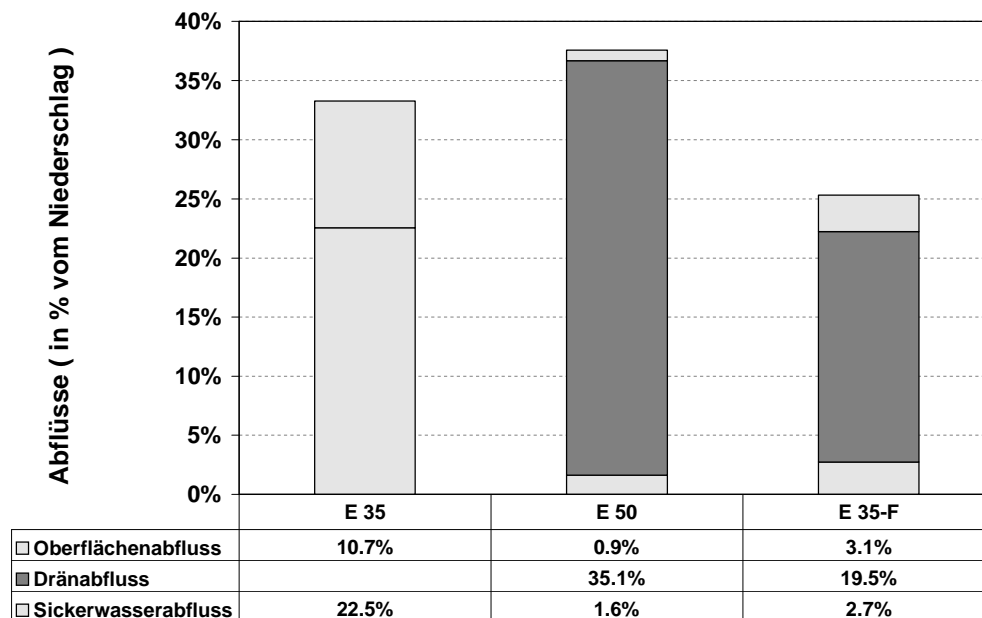


Abbildung 12: Wasserbilanz der Großlysimeter-Versuchsfelder.

Für Altdeponien und Altablagerungen werden teilweise einfache „alternative“ Oberflächenabdeckungen diskutiert, die nur aus einer optimierten Rekultivierungsschicht/ Wasserhaushaltsschicht bestehen. Unter den klimatischen Gegebenheiten am Standort „Im Dienstfeld“ würde eine solche einfache Oberflächenabdeckung zu einer Sickerwasserbildung von ca. 22% führen (Summe aus Drän- und Sickerwasserabfluss von E 35-F). Interessant

ist die Gegenüberstellung mit der verdichteten mineralischen Oberflächenabdeckung des ersten Versuchsfeldes (E 35), die gleichfalls zu einer Sickerwasserbildung von 22% führt.

Eine wichtige Fragestellung der Untersuchungen an den Großlysimetern ist der Vergleich der Wirksamkeit des jeweiligen Abdichtungssystems im frisch hergestellten Zustand und nach mehrjähriger Beanspruchung durch die örtlichen Einflüsse. Im Einbauzustand weisen die Oberflächenabdichtungssysteme erwartungsgemäß eine hohe Wirksamkeit auf. Am Versuchsfeld 2 zeigt sich, dass die Wirksamkeit der GTD unter der 1,0 m dicken sandigen Rekultivierungsschicht im Laufe von 6 Jahren zurückgeht.

Für die Frage der Wirksamkeit von Deponieabdichtungssystemen haben sich zu Großlysimetern ausgebaute Versuchsfelder vielfach bewährt. In Ihnen können Niederschlags- und Abflussmessungen vorgenommen und Wasserhaushalts-Bilanzierungen durchgeführt werden. Der Blick in die "black box" der einzelnen Schichten des Abdichtungssystems wird ermöglicht durch in-situ-Messinstrumente. FDR-Sonden zur kontinuierlichen Messung des Bodenwassergehalts in unterschiedlichen Tiefen erlauben Einblicke in die Dynamik des Wasserhaushalts innerhalb der einzelnen Funktionsschichten des Abdichtungssystems und lassen die jahreszeitlichen Einwirkungen auf die Bodenschichten und etwaige kritische Zustände (Austrocknung) erkennen.

7 Folgerungen

Die Langzeituntersuchungen des Versuchsfeldes auf der Deponie "Im Dienstfeld" tragen dazu bei, den Wasserhaushalt von Deponie-Oberflächenabdeckungen zu verstehen und Prognosen für deren Wirksamkeit auch an anderen Standorten zu stellen.

Eine große Anzahl von Altdeponien ist ähnlich wie die untersuchte Deponie "Im Dienstfeld" mit einfachen mineralischen Oberflächenabdeckungen versehen. Auch als temporäre Oberflächenabdichtung für neue Deponien für den Zeitraum bis zum Abklingen der biologisch-chemischen Aktivität kommen einfache mineralische Abdeckungen als eine Option in Frage.

Für die Sickerwasserneubildung unter einfachen mineralischen Oberflächenabdeckungen sind die Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr ausschlaggebend; genauer gesagt der Anteil der Winterniederschläge, der nach dem Wiederauffüllen des Bodenspeichers fällt. Aus meteorologischen Angaben über die Niederschlagshöhe im Winterhalbjahr und aus Abschätzungen bzw. Messungen der nutzbaren Feldkapazität lässt sich

somit die Höhe der Sickerwasserneubildung in etwa abschätzen. Da der Prozess der Sickerwasserneubildung unter einfachen mineralischen Oberflächenabdeckungen vom Prinzip her der Grundwasserneubildung unter natürlichen Böden entspricht, lässt sich die Größenordnung der Sickerwasserneubildung aus den Karten zur Grundwasserneubildung abschätzen. Voraussetzung ist dabei, dass Bodenart und Bewuchs der Deponieoberfläche und der Region vergleichbar sind.

Einfache mineralische Abdeckungen sind demzufolge nur in niederschlagsarmen Gegenden mit geringer Grundwasserneubildung als temporäre Oberflächenabdichtung geeignet. Ansonsten sind auch für temporäre Abdichtungen Systeme mit einer Dränschicht oder mit KDB zu empfehlen.

Die Beobachtungen am Großlysimeter-Versuchsfeld des Oberflächenabdichtungssystems mit Geokunststoffen zeigen, dass die 1,0 m dicke, sandige Rekultivierungsschicht nicht ausreicht, um unter den klimatischen Bedingungen am Standort „Im Dienstfeld“ die GTD vor periodischen Wassergehaltsänderungen zu schützen. Die Durchsickerung hat als Konsequenz davon von anfänglich ca. 0,5% zwischenzeitlich auf ca. 1% - 4% der Niederschlagssumme zugenommen. Die auf insgesamt 7 Jahre angelegte Langzeitbeobachtung dient dazu, festzustellen, in wie weit die Dichtwirkung nach mehreren Jahreszyklen weiter abnimmt.

Am Versuchsfeld E 35(F) zeigt sich, dass eine 2,0 m dicke Rekultivierungsschicht erforderlich ist, um unter extremen Witterungsbedingungen wie im Sommer 2003 eine Wassergehaltsabnahme der darunter liegenden tonmineralischen Dichtung zu verhindern. Die Weiterführung der Messungen im Versuchsfeld wird zeigen, ob auch bei fortschreitender Entwicklung der Vegetation und der Durchwurzelung die mineralische Dichtungsschicht nachhaltig wirksam bleibt.

Die Weiterführung dieser und der weiteren in Bayern vorhandenen Langzeit-Beobachtungen an Großlysimeter-Versuchsfeldern ist sehr wichtig, um die gewonnenen Erkenntnisse abzusichern und um auch langfristige Änderungen der Systeme zu erkennen. So können den Deponiebetreibern und den Genehmigungsbehörden Hinweise für die Planung nachhaltig wirksamer und damit auf lange Sicht kostengünstiger Oberflächenabdichtungssysteme geben werden.

Danksagung

Die Forschungsprojekte auf der Deponie „Im Dienstfeld“ finden im Auftrag und mit Finanzierung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz statt. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Literatur

Berger, K. (2002): Anwendung des HELP-Modells für die Simulation des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungssystemen. – in: Handbuch der Altlastensanierung, Kennzahl 5588.

Dunger, V. (2001): Modellierung des Wasserhaushaltes von Systemen zur Oberflächensicherung von Deponien mit dem Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodell BOWAHALD. – in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 122.

Eberle, M. (2004): Bau der endgültigen Oberflächenabdichtung der SAD Schwabach - Integration der temporären Abdichtung. – in: Tagungsband 15. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des LGA Grundbauinstituts Heft 82, S. 197 – 216.

Ehrig, H.-J. & I. Krümpelbeck (1999): Abschätzung der Restemissionen von Deponien in der Betriebs- und Nachsorgephase auf der Basis realer Überwachungsdaten. - Abschlussbericht BMBF-Förderkennzeichen 1471067, Wuppertal.

Henken-Mellies, W.U. & E. Gartung (2002): Wirksamkeit einfacher Deponie-Oberflächenabdeckungen: Langzeituntersuchungen an einem Versuchsfeld in Aurach. - Müll und Abfall 1/2002.

Horn, R. (2002): Verbesserung der Langzeitbeständigkeit von Oberflächenabdichtungen durch modifizierte mineralische Abdichtsysteme. – Müll und Abfall 4/02, S. 181 – 186.

Huber, W., S. Schatz & A. Quentin (2002): statistische Auswertung des Sickerwasseranfalls auf bayerischen Deponien, Endbericht. – Projekt 3260, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Ramke, H.-G., E. Gartung et al. (Hrsg.) (2002): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen - Tagungsband. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3. FH Höxter, 2002

Rödl, P, D. Heyer & D. Ranis (2002): Feldstudien zum Langzeitverhalten mineralischer Deponieabdeckungen in Bayern. – in: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Bd.3. FH Höxter, 2002, S. 225 – 238.

Anschrift:

Dr. Wolf Ulrich Henken-Mellies

LGA Bautechnik GmbH, Grundbauinstitut

Tillystr. 2

D-90431 Nürnberg

wolf-ulrich.henken-mellies@lga.de

<http://geotechnik.lga.de>