

Die Bedeutung der Rekultivierungsschicht für die Wirksamkeit von Deponie-Oberflächenabdichtungen

W. Ulrich Henken-Mellies

1 Einleitung

Die Rekultivierungsschicht ist das oberste Element des Oberflächen-Abdichtungssystems von Deponien. Die Rekultivierungsschicht und der Bewuchs setzen hinsichtlich des Landschaftsbildes einen Schlusspunkt des Deponiebetriebes: Wo zuvor umherfliegende Plastikfetzen, kreisende Vögel und Geruchsemissionen unübersehbare Zeichen der Müllablagerung waren, wandelt sich die Landschaft in eine Grünfläche oder einen grünen Hügel.

Die landschaftliche Wiedereingliederung der ehemaligen Deponiefläche als Grünland, Busch- oder Brachland vollzieht sich im allgemeinen innerhalb weniger Jahre. Auch bei den Schließungs- und Rekultivierungsprogrammen der Gemeinde-Müllplätze in den 1970er Jahren zeigen beeindruckende "vorher-nachher" - Bilder einen raschen optischen Erfolg der Rekultivierung.

Stand vor 30 Jahren die naturräumliche Wiedereingliederung der Müllplätze durch Rekultivierung im Vordergrund, so haben sich inzwischen die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht als Element des Deponie-Oberflächenabdichtungssystems erheblich gesteigert.

Die TA Siedlungsabfall geht in Ziffer 10.4.1.4 d) stichwortartig auf die Funktion der Rekultivierungsschicht ein. Danach haben Rekultivierungsschicht und Bewuchs folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Die Dichtung ist vor Wurzel- und Frosteinwirkungen zu schützen.
- Der Bewuchs hat ausreichenden Schutz gegen Wind- und Wassererosion zu bieten.
- Die Infiltration von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem soll minimiert werden.

Als Materialanforderung wird lediglich eine *"mindestens 1 m dicke Schicht aus kulturfähigem Boden"* genannt. Der Rekultivierungsschicht von Deponien wurde anfänglich wenig Aufmerksamkeit gewidmet, zumal die Regelwerke hier keine klaren, prüfbaren Materialkennwerte vorgaben. Die Forschung zum Thema Rekultivierungsschichten wurde

aber indirekt angeregt dadurch, dass Oberflächenabdichtungen unter mangelhaft angelegten Rekultivierungsschichten versagten. Die Auswertung dieser Fälle führte dann dazu, ihre Wirkungsweise genauer zu studieren und detailliertere Anforderungen an die Rekultivierungsschicht zu formulieren.

Zwischenzeitlich gibt es eine Anzahl von Veröffentlichungen, Empfehlungen und Regelwerken, die sich mit Rekultivierungsschichten befassen und Hinweise bzw. Anforderungen für ihren Aufbau geben. Im vorliegenden Beitrag werden zunächst diese Anforderungen an Rekultivierungsschichten zusammengefasst. Anschließend werden Forschungsergebnisse über die Wirkung von Rekultivierungsschichten aus der Fachliteratur und von eigenen Forschungsarbeiten auf der Deponie "Im Dienstfeld" vorgestellt. Der Beitrag schließt mit einer Bewertung der Erkenntnisse und mit Hinweisen auf offene Fragen.

2 Anforderungen an die Rekultivierungsschicht

2.1 Forschungsergebnisse

Dass falsch dimensionierte Rekultivierungsschichten zum Versagen von Oberflächenabdichtungen beitragen können, wurde in spektakulärer Weise an den Ergebnissen von Versuchsfeldern auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder deutlich. Hier wurden in mehreren Testfeldern Bentonitmatten eingebaut unter einer geringmächtigen Überdeckung aus 30 cm Rekultivierungsschicht und 15 cm Entwässerungsschicht. Bereits nach einer Vegetationsperiode wurden die Dichtungsschichten durchwurzelt. Nach zwei Jahren wurden austrocknungsbedingte Gefügebildungen und erhebliche Durchsickerungen festgestellt. Die geringe Dicke der Rekultivierungsschicht von nur 30 cm führte also dazu, dass die darunterliegende Abdichtung (Bentonitmatten) in kürzester Zeit versagte. In weiteren Versuchsfeldern auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder betrug die Dicke der Rekultivierungsschicht 0,75 m (darunter 0,25 m Flächendränage). Nach 4 bis 5 Jahren war eine darunter angeordnete rein mineralische Dichtungsschicht durch Austrocknung und Durchwurzeln in ihrer Wirkung stark beeinträchtigt (Melchior, 1996).

Zu den Anforderungen an die Rekultivierungsschicht und an die Oberflächenabdichtung bei vorgesehener Aufforstung wurde in Baden-Württemberg ein Forschungsvorhaben durchgeführt (Bothmann, 1997; Konold, Wattendorf & Leisner, 1997). Der Studie zufolge sollte die Rekultivierungsschicht mindestens 2 m mächtig sein. Erst ab Schichtmächtigkeiten von 3,5 m sind keine Maßnahmen zur Begrenzung des Wurzelwachstums erforderlich. Diese Überlegungen gelten auch für Standorte, an denen die Vegetation auf der

Rekultivierungsschicht sich selbst überlassen wird, wo damit zu rechnen ist, dass sich im Laufe von 50-100 Jahren eine natürliche Waldsukzession einstellt.

Was die Evapotranspirations-Leistung anbetrifft, hat immergrüner Nadelwald die höchste Leistungsfähigkeit, gefolgt von Laubwald, Buschbrache und Grünland (Berger & Sokollek, 1997). Die Autoren gehen der Frage nach, ob mit einer optimalen Kombination von Rekultivierungsschicht und Vegetation die Evapotranspiration 100 % der Niederschlagssumme erreichen kann, so dass die Sickerwasserneubildung gegen Null geht und sich eine technische Oberflächenabdichtung erübrigen könnte. Sie kommen zu dem Schluss, dass hierfür allenfalls in regenarmen Gebieten im Osten Deutschlands geeignete Voraussetzungen gegeben sind.

Im Versuchsfeld des BayFORREST-Projektes E 35 auf der Deponie "Im Dienstfeld" bei Aurach wurde festgestellt, dass die sommerliche Austrocknung der bindigen, mineralischen Abdeckung bis in Tiefen von > 1,2 m reichen kann (Henken-Mellies & Gartung, 2002).

2.2 Anforderungen des DIBt im Zusammenhang mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen

Ausgehend vor allem von den an den Versuchsfeldern auf der Deponie Georgswerder erzielten Erkenntnisse formulierte das DIBt im Zusammenhang mit der Zulassung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) Anforderungen an die Rekultivierungsschicht (Herold, 1998). Diese Anforderungen umfassen folgende Gesichtspunkte:

- Die eingebaute Bodenschicht soll eine ausreichende nutzbare Feldkapazität (nFK) aufweisen, damit die Pflanzen in sommerlichen Trockenperioden nicht absterben und ein durch den Trockenstress hervorgerufenes Tiefenwachstum der Wurzeln verhindert wird. Hierfür soll die nutzbare Feldkapazität mindestens 200 mm betragen.
- Die nFK wird hauptsächlich durch die Bodenart, den Humusgehalt und die Trockeneinbaudichte bestimmt. Besonders geeignete Bodenarten sind lehmige und schluffige Sande, sowie sandige und schluffige Lehme sowie Schluffe. Die Schichtmächtigkeiten sind entsprechend den Anforderungen an die nFK zu dimensionieren.
- Der Einbau sollte möglichst nur als Schüttung ohne größere Verdichtung erfolgen. Eine Einbau-Trockendichte von $1,45 \text{ g/cm}^3$ sollte dabei nicht überschritten werden.

- Die Wurzelcharakteristik verschiedener Pflanzen ist bei der Dimensionierung zu berücksichtigen.
- Zur ausreichenden Nährstoffversorgung der Pflanzen sollen die obersten 30 cm aus humosem Material bestehen.
- Durch steinreiche und dicht gelagerte Schichten kann in tieferen Schichten eine zusätzliche wurzelhemmende Wirkung erreicht werden.

2.3 Arbeitspapier der LAGA - Arbeitsgruppe zum Thema Rekultivierungsschicht

Die LAGA-Arbeitsgruppe "Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen" hat im Jahr 2000 ein Arbeitspapier zur "Rekultivierung" herausgegeben. Darin werden die Anforderungen der TAsi an die Rekultivierungsschicht konkretisiert und in Vorbereitung der Deponieverordnung erweitert. Die zentrale Aussage des Arbeitspapiers lautet:

"Sowohl unter dem Gesichtspunkt Ausgleich der Eingriffe in Natur und Landschaft als auch Schutz des Oberflächenabdichtungssystems ist die nach TAsi geforderte Mindestmächtigkeit von 1 m nicht ausreichend. Dies umso mehr, als auf lange Sicht die Rekultivierungsschicht das wesentliche Schutzelement darstellt und sie diese Funktion nur bei ausgeglichenem Wasserhaushalt und standortgerechter Vegetation auf Dauer erfüllen kann."

Im Grundsatz greift das LAGA-Papier "Rekultivierung" die vom DIBt für Rekultivierungsschichten über GTD aufgestellten Anforderungen auf (s.o.). Bezüglich der erforderlichen Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht äußert sich das LAGA-Papier dahingehend, dass *"je nach örtlichen Gegebenheiten, Wurzelcharakteristik der potentiellen natürlichen Vegetation, der beabsichtigten Folgenutzung und der Art des verfügbaren Bodenmaterials eine Schichtstärke von > 1,5 m bis über 3 m vorzusehen"* ist.

2.4 Deponieverordnung des Bundes

In der Deponieverordnung des Bundes (2002) ist ein eigener Anhang (Anhang 5) den "Anforderungen an die Rekultivierungsschicht für oberirdische Deponien (zu § 12 Abs.3)" gewidmet. Dieser Anhang trifft Aussagen zur Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht und zu Qualitätsanforderungen und der Qualitätssicherung:

- *"Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht soll sich an der Durchwurzelungstiefe der Vegetation (...), der erforderlichen Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats und besonderen Schutzerfordernissen der Rekultivierungsschicht im Einzelfall orientieren. Sie ist so zu bemessen, dass unter Berücksichtigung der vegetationsspezifischen Durchwurzelungstiefe und der Materialeigenschaften eine Durchwurzelung der Entwässerungsschicht weitestgehend vermieden wird und die Dichtung vor Wurzel- und Frosteinwirkung sowie vor Austrocknung geschützt wird. Die Mächtigkeit soll daher mindestens 1 m betragen. "*
- Die Qualitätsanforderungen an das Bodenmaterial werden in der endgültigen Fassung der DeponieVO nur hinsichtlich der Schadstoffgehalte zahlenmäßig konkretisiert. Im Kabinettsentwurf war eine Zahlenangabe zur nutzbaren Feldkapazität enthalten ($n_{FK} \geq 200$ mm), die endgültige Fassung erwähnt nur, ohne Zahlen zu nennen, eine "hohe nutzbare Feldkapazität".

Die Deponieverordnung führt einen grundsätzlich neuen Aspekt in den Aufbau von Rekultivierungsschichten ein, nämlich den der **Bemessung**. Wie diese Bemessung durchzuführen ist, lässt der Verordnungstext allerdings offen. Auch in der Fachwelt ist man meines Erachtens noch deutlich davon entfernt, eine wissenschaftlich begründete Bemessung von Rekultivierungsschichten durchführen zu können.

2.5 GDA-Empfehlung E 2-31 - Rekultivierungsschichten

Intensiv mit dem Thema Rekultivierungsschichten befasst hat sich die Arbeitsgruppe 7 "Oberflächenabdichtungssysteme" des Arbeitskreises 6.1 - Geotechnik der Deponien der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. In der GDA-Empfehlung E 2-31 - Rekultivierungsschichten (2000) werden ausführliche Hinweise zum Entwurf, zu Eignungsprüfungen, zum Einbau sowie zum Qualitätsmanagement für Rekultivierungsschichten gegeben. Hier sind die aktuellen Erkenntnisse zum Thema Rekultivierungsschichten aus geotechnischer, bodenkundlicher und agrarbiologischer Sicht zusammengetragen. Viele der hier zitierten Daten weisen darauf hin, dass die Rekultivierungsschicht im Regelfall deutlich mächtiger als 1 m sein muss, wenn darunter austrocknungsgefährdete mineralische Dichtungsschichten angeordnet sind: Die Spanne üblicher Wurzeltiefen von Pflanzen, die auf Deponiestandorten auftreten zeigt, *"dass die oft ausgeführte Mindestmächtigkeit der Rekultivierungsschicht von 1,0 m im Regelfall nicht ausreicht, um die Entwässerungsschicht und die Abdichtungsschicht wurzelfrei zu halten. Hierfür sind meist 1,5 m bis 3,0 m erforderlich."*

Mit den Wechselwirkungen zwischen Bewuchs/Rekultivierungsschicht und austrocknungsgefährdeten mineralischen Abdichtungen hat sich im Jahr 2002 ein Status-Workshop der Arbeitsgruppe 7 unter Leitung von Prof. Dr. Ramke befasst (siehe Ramke, dieser Tagungsband).

3 Versuchsfelder zur Untersuchung von Rekultivierungsschichten

3.1 Neu begonnene Lysimeter-Feldversuche (Literaturrecherche)

Auf der Deponie Karlsruhe West besteht seit 1993 ein Versuchsfeld zur Untersuchung einer Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtungsschicht und Kapillarsperre. Im Jahr 1999 wurde daneben ein neues Testfeld mit 4 Kompartimenten errichtet, das eine 2 m mächtige Rekultivierungsschicht über unterschiedlichen Abdichtungsvarianten (u.a. einer mineralischen Abdichtung bzw. einer Kapillarsperre) aufweist. Es soll Erkenntnisse darüber liefern, inwieweit diese mächtigere Rekultivierungsschicht die mineralische Dichtung besser schützt als die bisherige 1 m mächtige Rekultivierungsschicht (Breh & Hötzl, 1999). Ergebnisse dieses neuen Versuchsfeldes wurden bislang noch nicht publiziert.

Am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Universität der Bundeswehr München wurden im Jahr 2002 vier Messfelder zur Untersuchung des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungen gebaut (Schmitz, 2002). Die vier Messfelder haben jeweils die gleiche GTD als Dichtungsschicht und das gleiche Drän-Geokomposit als Entwässerungsschicht. In allen 4 Fällen beträgt die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht 1,5 m; unterschiedlich ist allein das Material der Rekultivierungsschicht (Kompost; „Rotlage“ mit hoher Einbaudichte; „Rotlage“ mit geringer Einbaudichte; Schluff aus der Kieswäsche mit geringer Einbaudichte). Der Wasserhaushalt der Rekultivierungsschichten wird mit einem umfassenden Messprogramm überwacht. Die Untersuchungen auf den neuangelegten Messfeldern sollen Möglichkeiten aufzeigen, „low-cost“ Materialien für die Herstellung von Rekultivierungsschichten zu verwenden. Ergebnisse sind ab 2003/2004 zu erwarten.

Auf der Deponie Leonberg im Landkreis Böblingen wurden im Jahr 2000 zwei Lysimeterfelder zur Untersuchung von Rekultivierungsschichten angelegt. In einem der Versuchsfelder wurde eine 2,1 m mächtige Rekultivierungsschicht in herkömmlicher Bauweise unter lagenweisem Einbau mit gewisser Verdichtung eingebracht. Im zweiten Versuchsfeld erfolgte der Einbau der Rekultivierungsschicht mit geringstmöglicher Verdichtung unter vor-Kopf Schüttung der gesamten Schicht (2,3 m) von oben her. Die Trockendichte der unverdichtet eingebauten Rekultivierungsschicht nahm von ursprünglich

1,45 – 1,5 g/cm³ im Laufe eines halben Jahres im Zuge der Konsolidierung der Bodenschichten auf ca. 1,5 – 1,6 g/cm³ zu. Die Durchwurzelungstiefe erreichte innerhalb eines $\frac{3}{4}$ Jahres seit Bau der Versuchsfelder 50 cm (konventionell eingebaute Rekultivierungsschicht) bzw. 1,1 m (unverdichtet eingebaute Rekultivierungsschicht) (Haubrich, 2002). Zahlenangaben zum Wasserhaushalt sind derzeit noch nicht publiziert.

3.2 Großlysimeter auf der Deponie „Im Dienstfeld“, Landkreis Ansbach

Auf der Deponie „Im Dienstfeld“, Landkreis Ansbach, richtete die LGA im Jahre 1998 ein Großlysimeter-Versuchsfeld ein, in dem ein alternatives Oberflächenabdichtungssystem mit Geokunststoffen untersucht wird. Unter der 1,0 m mächtigen Rekultivierungsschicht befinden sich eine Drän-Geokomposit und eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD). Die Rekultivierungsschicht besteht aus 0,2 m humosem Oberboden und 0,8 m schwach schluffigem Sand als Unterboden. Das Versuchsfeld ist mit Systemen zur Messung der Wasserabflüsse ausgestattet. Darüberhinaus ist die Rekultivierungsschicht mit FDR-Sonden zur Erfassung des volumetrischen Wassergehalts bestückt. In Abbildung 1 ist der Profilaufbau des Versuchsfeldes dargestellt und daneben Messergebnisse der FDR-Sonden im Verlauf einer Vegetationsperiode.

Im Diagramm sind Wassergehalte in verschiedenen Tiefen in der Rekultivierungsschicht (0,2m; 0,4m; 0,6m; 0,8m) zu verschiedenen Zeitpunkten des Jahres 2000 (Februar, Mai, Juli, November) dargestellt. Im Februar (durchgezogene Linie) hat der Oberboden einen Wassergehalt von 33 Vol.-%, der sandige Unterboden hat Wassergehalte von 14 – 18 Vol.-%. Im Mai (lang gestrichelte Linie) hat der Wassergehalt bis 0,6 m Tiefe deutlich abgenommen; nur

E50

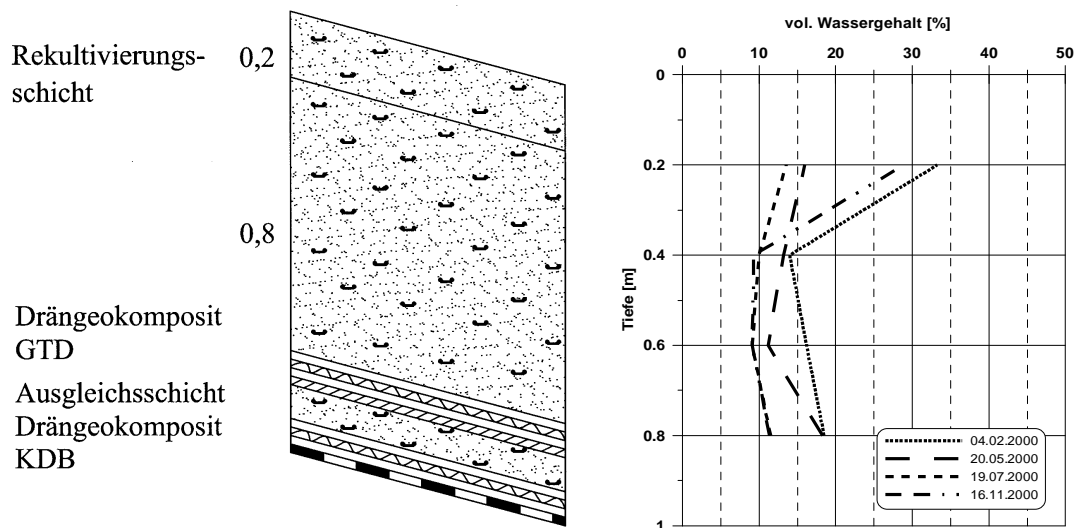


Abbildung 1: Profilskizze des Versuchsfeldes E 50 (Oberflächenabdichtung mit GTD) und Ergebnisse der Wassergehaltmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht.

in 0,8 m Tiefe ist der Wassergehalt noch unverändert hoch. Im Juli (kurz gestrichelte Linie) ist der Bodenwassergehalt im gesamten Profil auf sehr niedrige Werte von 9 – 13 Vol.-% gesunken. Im November ist zu beobachten, dass das Bodenprofil von oben her wieder befeuchtet wird.

Für die Frage des Wasserhaushalts der Rekultivierungsschicht sind hier zwei Beobachtungen wichtig:

- Im gesamten Profil der Rekultivierungsschicht (mit Messungen bis 0,8 m Tiefe belegt) nimmt der Bodenwassergehalt im Spätsommer auf einen Minimalwert ab. Dieser Wert entspricht dem (bodenabhängigen) Permanenten Welkepunkt.
- Der humose, schluffige Oberboden kann 20 Vol.-% Wasser speichern (diese Differenz zwischen winterlichem Maximalwert und sommerlichem Minimalwert entspricht der nutzbaren Feldkapazität). Der schwach schluffige Sand des Unterbodens kann dagegen nur 5 – 8 Vol.-% Wasser speichern.

Diese Rekultivierungsschicht von 1,0 m Mächtigkeit ist dahingehend zu bewerten, dass sie keine Austrocknungssicherheit für darunterliegende mineralische Dichtungsschichten gewährleisten kann.

Um die Wirkung mächtigerer Rekultivierungsschichten hinsichtlich der Austrocknungssicherheit mineralischer Dichtungsschichten zu untersuchen, wurden im Jahre 2001, in Fortsetzung des Forschungsprojekts im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, 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, jedoch mit Schichtdicken der Rekultivierungsschicht von 1,5 m und 2,0 m. Die Rekultivierungsschicht aus schluffigem, schwach tonigem Sand wurde mit möglichst geringer Verdichtung in 2 Schüttagungen vor Kopf mit einer Moorwalze von oben nach unten eingebaut. Dabei wurden Einbaudichten von 1,5 - 1,6 t/m³ erzielt. Bei Aufgrabungen im Frühjahr 2002 wurden an ungestört entnommenen Bodenproben Trockendichten von 1,65 - 1,7 t/m³ festgestellt - ein Beleg für die nachträgliche Verdichtung infolge Konsolidierung des Bodens.

Seit dem Frühjahr 2002 finden hier Messungen der Wasserabflüsse und in-situ-Messungen der Bodenfeuchte und der Wasserspannungen statt. Die Beobachtung dieser neuen Versuchsfelder ist auf einen Zeitraum von 5 Jahren ausgelegt. Aufgrund der kurzen bisherigen Versuchsdauer sind hier noch keine aussagekräftigen Auswertungen der Wasserabfluss-Messungen möglich. Nachfolgend werden aber erste Ergebnisse der Bodenfeuchte-Messungen der Rekultivierungsschicht vorgestellt. Es ist allerdings zu beachten, dass es sich um Messungen aus dem ersten Vegetationsjahr der Rekultivierungsschicht mit noch nicht voll entwickeltem Bewuchs handelt.

In den Abbildungen 2 und 3 sind Ergebnisse der mittels FDR-Sonden erzielten kontinuierlichen in-situ-Wassergehaltsmessungen dargestellt. Die Diagramme zeigen den volumetrischen Wassergehalt in verschiedenen Tiefen der Rekultivierungsschicht und der mineralischen Dichtungsschicht zu verschiedenen Zeitpunkten des Jahres 2002 (Mai bis Oktober). Im Mai 2002 (durchgezogene Linie) waren im gesamten Profil der Rekultivierungsschicht hohe Wassergehalte von 33 - 38 Vol.-% vorhanden. Im Laufe des Sommers ist eine sukzes-

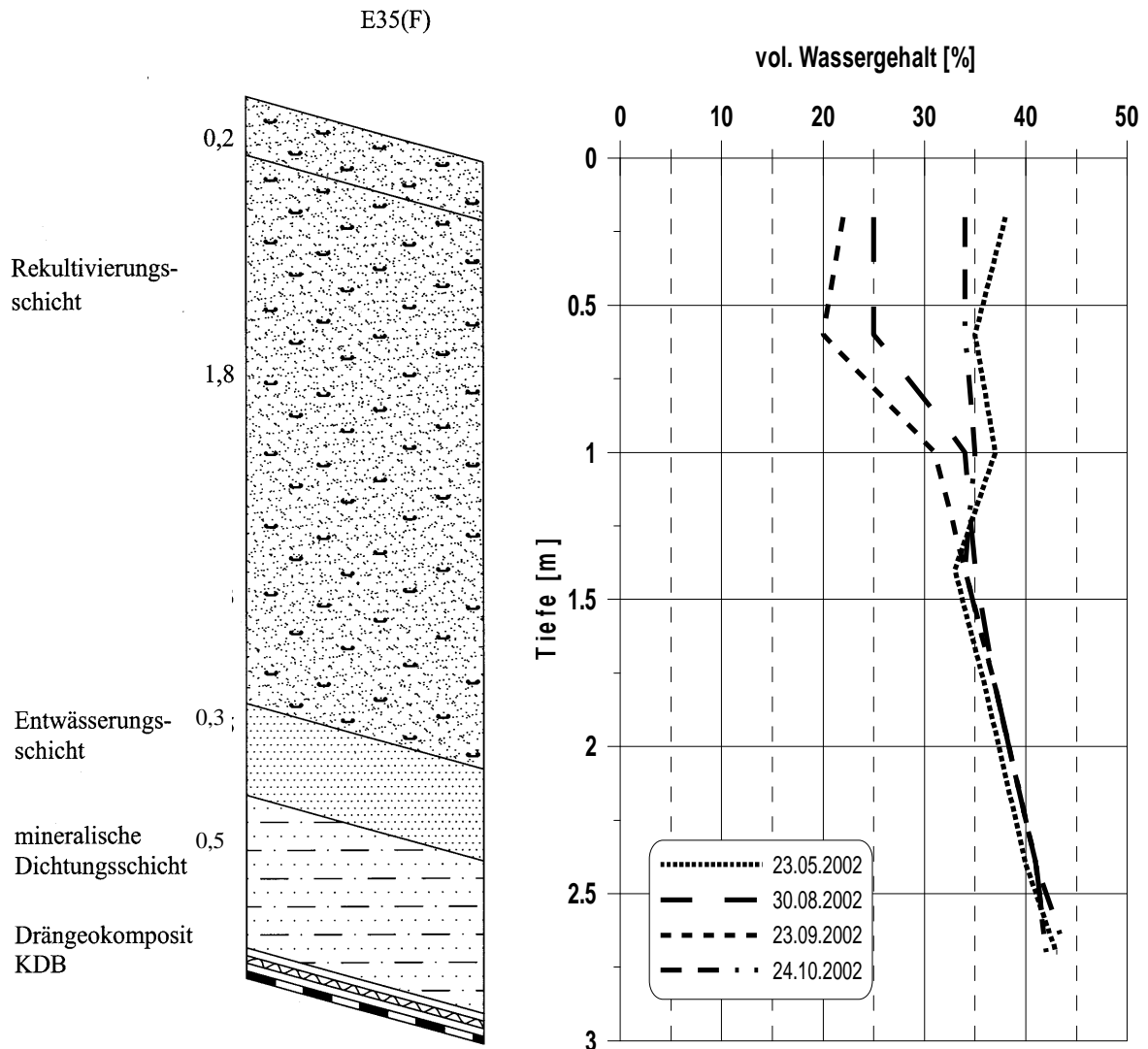


Abbildung 2: Profilskizze des Versuchsfeldes 1 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 2,0 m mächtiger Rekultivierungsschicht) und Ergebnisse der Wassergehaltmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.

sive Abnahme der Wassergehalte zu verzeichnen, die sich bis zur Tiefe von 1,0 m deutlich auswirkt (Wassergehaltsabnahme um 6% im Versuchsfeld 1 (Abb. 2) bzw. um 3% im Versuchsfeld 2 (Abb. 3)). Die FDR-Sonden in 1,4 m Tiefe zeigen keine sommerliche Wassergehaltsabnahme.

Die Differenz zwischen dem maximalen Bodenwassergehalt im Frühjahr und dem minimalen im Spätsommer entspricht der nutzbaren Feldkapazität. Sie beträgt für die im Versuchsfeld eingebaute Rekultivierungsschicht bis zu 16 Vol.-% oder 160 mm/m.

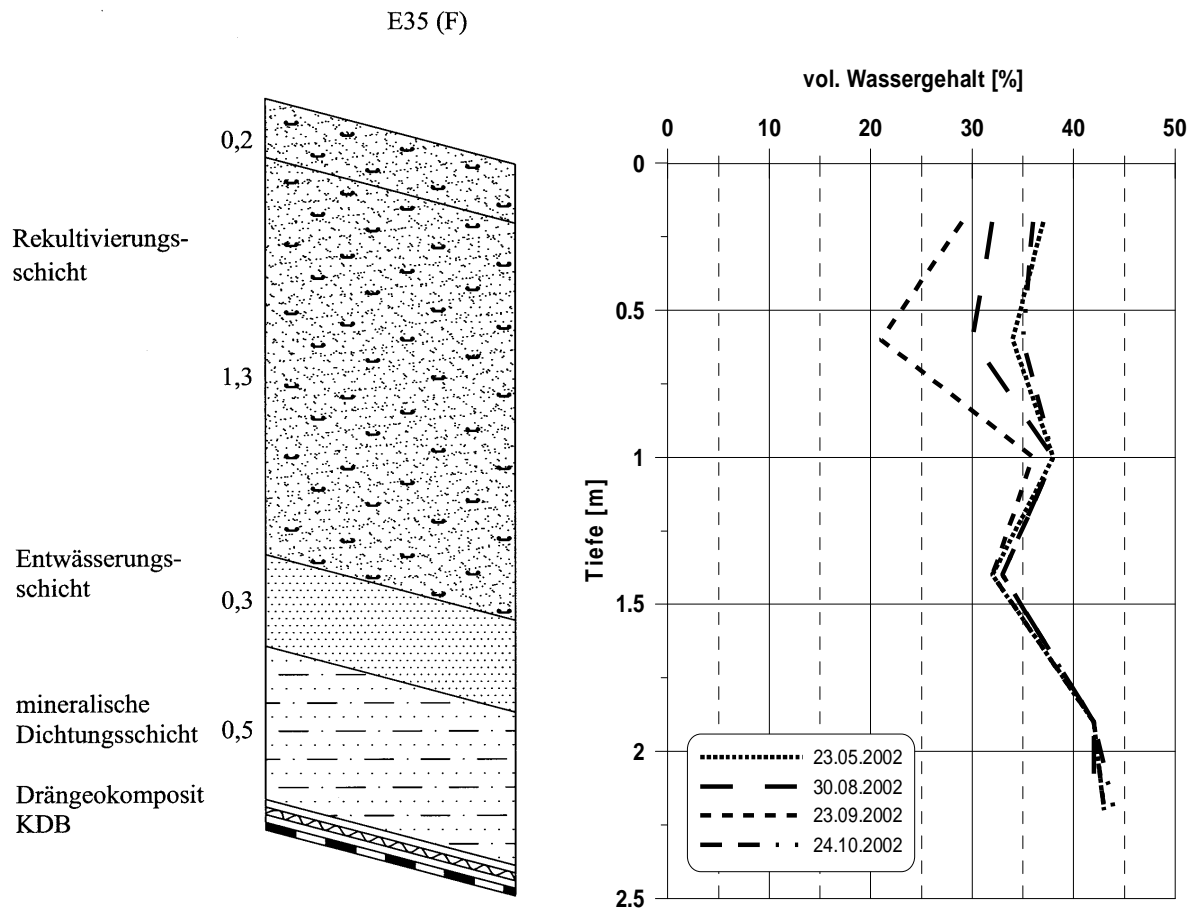


Abbildung 3: Profilskizze des Versuchsfeldes 2 (mineralische Oberflächenabdichtung mit 1,5 m mächtiger Rekultivierungsschicht) und Ergebnisse der Wassergehaltsmessungen mittels FDR-Sonden in der Rekultivierungsschicht und in der mineralischen Dichtungsschicht.

Bisher liegen für diese neu errichteten Versuchsfelder erst Daten aus einem Beobachtungsjahr mit einem ungewöhnlich feuchten Sommer vor. Außerdem war die Vegetation noch nicht voll entwickelt. Dennoch wird deutlich, dass selbst unter diesen Randbedingungen eine Wassergehaltsabnahme bis > 1 m Tiefe in der Rekultivierungsschicht zu verzeichnen ist. Die Messungen im weiteren Verlauf des Untersuchungszeitraumes werden zeigen, wie tief die Austrocknungsfront in der Rekultivierungsschicht in trockeneren Jahren reichen kann. Der Vergleich der 1,5 m mächtigen mit der 2,0 m mächtigen Rekultivierungsschicht soll zeigen, ob die höhere Schichtdicke gerechtfertigt ist, oder ob auch mit der geringeren Schichtdicke ein nachhaltiger Schutz der mineralischen Dichtungsschicht vor Austrocknung gewährleistet werden kann.

4 Folgerungen

An Rekultivierungsschichten innerhalb des Oberflächenabdichtungssystems von Deponien werden viele Anforderungen gestellt, die sich teilweise aus Erfahrungen und Fehlern in der bisherigen Deponiebaupraxis ergeben und die zum Teil aus bodenkundlichen Erkenntnissen abgeleitet werden. In den letzten Jahren wurden mehrere Forschungsprojekte zur Untersuchung der Funktionsweise von Rekultivierungsschichten initiiert, die inzwischen erste Ergebnisse liefern. Da sich die Vegetation auf Deponieoberflächen über einen Zeitraum von mehreren Jahren (bis Jahrzehnten) entwickelt, sind längere Beobachtungsfristen notwendig, um belastbare Ergebnisse zu erzielen.

Gleichzeitig ergibt sich aus den Fristen der Deponie- und Ablagerungsverordnung die Notwendigkeit, rasch zu praktisch umsetzbaren Hinweisen für Rekultivierungsschichten zu kommen. - Man kann nicht 30 Jahre warten, bis in ausführlichen Forschungskampagnen die letzte Unklarheit ausgeräumt ist. Es kommt vielmehr darauf an, die jeweils vorhandenen Teil-Resultate sinnvoll zu interpretieren und unter Abschätzung der Entwicklung der Vegetation und der klimatischen Variabilität einen vernünftigen Entwurf für die Rekultivierungsschicht auszuarbeiten. Hierzu nachfolgend ein paar subjektive Gedanken und Kommentare:

- Eine Schichtdicke der Rekultivierungsschicht von 1,5 m sollte nur in gut begründbaren Ausnahmefällen unterschritten werden. Das zeigen alle durchgeführten Feldversuche.
- Gilt das Motto "viel hilft viel"? - Sollte eine Rekultivierungsschicht möglichst 2 m, 3 m oder gar noch mächtiger sein, um 100%ige Austrocknungssicherheit zu garantieren? Oder gibt es eine naturwissenschaftlich oder empirisch begründbare Grenz-Mächtigkeit, die hierfür ausreicht? - Hierauf gibt es derzeit noch keine zuverlässige Antwort.
- Ist es sinnvoll, hohe Materialanforderungen an die Rekultivierungsschicht zu stellen (im Extremfall: Einbau von Lössboden)? - Sollte man nicht lieber Bodenmaterial für Rekultivierungsschichten verwenden, das lokal günstiger verfügbar ist und ansonsten auf Erddeponien (Deponieklasse 0) abgelagert würde, auch wenn es den hohen bodenkundlichen Ansprüchen nicht genügt?
- Welche Anforderungen an die Einbaudichte sind sinnvoll und in der Baupraxis realisierbar? - Die von Bodenkundlern gewünschte Einbau-Trockendichte von $1,45 \text{ g/cm}^3$ lässt sich vielleicht unter Idealbedingungen realisieren, sie sollte aber meines Erachtens nicht als Dogma angesehen werden. Richtig ist, dass die Frage des lockeren Einbaus der Rekultivierungsschicht thematisiert wird und dass Planer und Baufirmen von der üblichen Praxis des lagenweise verdichteten Einbaus abrücken zugunsten lockerer Schüttungen

(vgl. Erfahrungsbericht von Fein, 2001). Dabei ist aber die Standsicherheit auf den oftmals steilen Deponieböschungen zu gewährleisten und es ist zu beachten, dass zu lockere Schüttungen zu ungleichmäßigen Sackungen und zur Bildung von bevorzugten Wasserwegsamkeiten führen können.

- Ist das Ziel, dass die Rekultivierungsschicht als Wasserhaushaltsschicht, gemeinsam mit dem Bewuchs, eine möglichst hohe Evapotranspiration leisten soll, tatsächlich sinnvoll und anzustreben? - Oder wird gerade dadurch, dass die Rekultivierungsschicht tiefgründig aus lockerem Boden mit hoher nFK besteht und Pflanzenwurzeln auch in der Tiefe noch günstige Bedingungen vorfinden, das Problem des tiefreichenden Wasserentzugs noch verstärkt?

Diese offenen Fragen weisen darauf hin, dass wir weit davon entfernt sind, nach DeponieVO, Anhang 5 eine Bemessung der Rekultivierungsschicht durchzuführen, so dass *"unter Berücksichtigung der vegetationsspezifischen Durchwurzelungstiefe und der Materialeigenschaften (...) die Dichtung vor Wurzel- und Frosteinwirkung sowie vor Austrocknung geschützt wird."* Bei allen anderen Komponenten der Abdichtungssysteme gibt die Deponieverordnung einzuhaltende Schichtdicken und Materialeigenschaften vor, anstatt wirkungsbezogene Bemessungen zu erlauben. Dass ausgerechnet bei den am wenigsten mit einer gesicherten naturwissenschaftlichen Bemessungsgrundlage beschreibbaren Prozessen wie "vegetationsspezifische Durchwurzelung" und "Austrocknung" eine Bemessung ausdrücklich erwünscht ist, entbehrt nicht einer gewissen Ironie.

Die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht sind im Einzelfall abhängig von den darunter liegenden Schichten des Oberflächenabdichtungssystems und von den Randbedingungen, die diese jeweils benötigen:

- Die höchsten Anforderungen sind zu stellen, wenn sich unter der Rekultivierungsschicht eine mineralische Abdichtung bzw. eine GTD befinden, die austrocknungsempfindlich sind. Hier ist die Rekultivierungsschicht darauf abzustellen, dass ihre Basis unter keinen Umständen trockenfallen darf – auch nicht bei voll ausgebildetem Bewuchs und in einem extrem trockenen „Jahrhundertsummer“.
- Die Anforderungen an eine Rekultivierungsschicht über einer Kapillarsperre ergeben sich aus den der Bemessung der Kapillarsperre zugrunde liegenden Abflussspenden aus der Rekultivierungsschicht.

- Bei Abdichtungen mittels Kunststoffdichtungsbahnen oder Asphalt ist die Frage der Austrocknung nicht von Belang, solange die Konvektionssperre intakt ist. Hier bestimmen Fragen der langfristigen Sicherheit und des langfristigen Wasserhaushalts die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht.

Im Vergleich des Aufwandes für unterschiedliche Abdichtungssysteme müssen daher auch die Erfordernisse unterschiedlich anspruchsvoller Rekultivierungsschichten und die eventuellen Pflegemaßnahmen des Bewuchses berücksichtigt werden.

Danksagung

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

Literatur

Abfallablagerungsverordnung (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen - vom 20. Februar 2001

Deponieverordnung (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager - vom 24.07.2002; BGBl I 2002, 2807.

EU-Deponierichtlinie (1999): Richtlinie 199/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien.

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.

LAGA (2000): "Rekultivierungsschicht" - Arbeitspapiere zum Themenbereich "Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen" – LAGA-Arbeitsgruppe Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen.

GDA-Empf. E 2-31 - Rekultivierungsschichten. in: www.gdaonline.de

Barth, C. & S. Wohnlich (2001): Construction and operation of two lysimeter with a capillary barrier as surface sealing. - in: proceedings Sardinia 2001, vol. III, 355 - 360.

Berger K. & Sokollek V. (1997) Sind qualifizierte Abdeckungen von Altdeponien unter den gegebenen klimatischen Voraussetzungen der BRD sinnvoll bzw. möglich? Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten, Planung – Bau – Kosten. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 103, Berlin (E. Schmidt), S. 15 – 39

Bothmann, P. (1997): Anforderungen an Oberflächenabdichtungen und Wasserhaushaltsschicht bei vorgesehener Aufforstung. - in: Tagungsband 13. Nürnberger Deponieseminar; Veröff. des LGA-Grundbauinstituts, Heft 76, S. 315 - 325.

Breh, W. & H. Hötzl (1999): Langzeituntersuchungen zur Wirksamkeit des Oberflächenabdichtungssystems mit Kapillarsperre auf der Deponie Karlsruhe West - Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Ausblick. - in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 116, S. 143 - 166, Berlin (E. Schmidt).

Fein, W. (2001): Bau einer Wasserhaushaltsschicht - die Praxis zur Theorie am Beispiel der Deponie Eisenberg (Donnersberg). - in: Maier-Harth (Hg.): 4. Deponieseminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, 28.03.2001. Fundstelle: www.geotechnik-mainz.de/vortrag_wasserhaushaltsschicht.htm.

Haubrich, E. (2002): Neue Erkenntnisse bei der Rekultivierung von Deponien – Bau von Testfeldern im Rahmen eines Forschungsvorhabens. In: Rosenberg et al. (eds.): 10. braunschweiger Deponieseminar 2002 „Qualitätssicherung und Innovation“ – Mitteilungen des Inst. f. Grundbau u. Bodenmech. der TU Braunschweig, Heft Nr. 69, S. 23 - 45.

Henken-Mellies, W.U. (2002): Langzeitverhalten von Dränmatten und Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen. - Ergebnisse eines Testfeldes auf der Deponie "Im Dienstfeld", Landkreis Ansbach. - in: SKZ-Fachtagung "Die sichere Deponie", Würzburg, 14./15.02.2002.

Henken-Mellies, W.U. & E. Gartung (2002): Wirksamkeit einfacher Deponie-Oberflächenabdeckungen: Langzeituntersuchungen an einem Versuchsfeld in Aurach. - Müll und Abfall 1/2002, S. 28 - 32.

Herold, C. (1998): Die bauaufsichtliche Zulassung von Bentonitmatten als Dichtungselement für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien nach Deponieklasse I der TA-Siedlungsabfall. Müll und Abfall 5/98, S. 303 - 315.

Konold, W., P. Wattendorf & B. Leisner (1997): Anforderungen an die Rekultivierungsschicht beim Rekultivierungsziel "Wald". in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 103, S. 179 - 188, Berlin (E. Schmidt).

Lottner, U. (1999): Die Rekultivierung und Bepflanzung zur Langzeitsicherung mineralischer Deponieabdichtungen gewinnen an Bedeutung. - in: Bay. LfU - Tätigkeitsbericht 1999/9.

Melchior, S. (1996): Die Austrocknungsgefährdung von bindigen mineralischen Dichtungen und Bentonitmatten in der Oberflächenabdichtung. in: Tagungsband, 3. Deponie-Seminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, vom 30.05.1006.

Schmid, J. & H. Schulz (2000): Wirtschaftlichkeitsvergleich von Oberflächenabdichtungen - BayFORREST-Forschungsvorhaben F 166; Statusbericht.

Schmitz, S. (2002): Messfelder mit innovativen und kostengünstigen Oberflächenabdichtungen. – in: Schulz, H. (ed.): „Innovative und kostengünstige Oberflächenabdichtungen“; Tagungsunterlagen zur Versuchsfeldeinweihung an der UniBW München, Neubiberg, 30.10.2002, S. 8 – 10.

Anschrift:

Dr. sc. nat. W. Ulrich Henken-Mellies,
LGA-Grundbauinstitut
Tillystr. 2
D – 90431 Nürnberg
wolf-ulrich.henken-mellies@lga.de