

Beobachtungen zum Einfluss von Rekultivierungs- und Entwässerungsschicht auf den Wasserhaushalt und die Böschungstabilität von Oberflächenabdichtungssystemen

Dr. habil. Stefan Melchior

melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg - www.mplusw.de

1 Einführung

Der Wasserhaushalt und die Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungssystemen werden seit rund 20 Jahren intensiv untersucht. Entsprechend umfangreich sind die an vielen Standorten gewonnenen Ergebnisse. Ein Überblick über die vorliegenden Kenntnisse, der die Einflüsse der klimatischen Randbedingungen auf den Wasserhaushalt und die unterschiedlichen in der Praxis realisierten Schichtaufbauten angemessen würdigt, würde den Rahmen dieses Seminarbeitrages sprengen. In der Zusammenschau der vorliegenden Studien kann festgestellt werden, dass sich sehr viele Arbeiten mit der Wirksamkeit und dem Langzeitverhalten von tonhaltigen mineralischen Dichtungen, Kapillarsperren, Bentonitmatten, polymermodifizierten Mineralmischungen oder Reststoffdichtungen befassen. Dabei stand häufig die Schrumpffähigkeit der tonhaltigen Dichtungssysteme im Focus des Interesses¹. In den letzten fünf bis zehn Jahren wurde der Bedeutung der Rekultivierungsschicht und des Bewuchses für die langfristige Funktion von Oberflächenabdichtungssystemen zunehmend Aufmerksamkeit gewidmet, was sich unter anderem in der Erstellung der GDA-Empfehlungen E 2-31 und E 2-32 (DGGT 2000b, c) niedergeschlagen hat. Die Grundlagen des Wasserhaushalts von Oberflächenabdichtungssystemen wurden bereits vielfach dargestellt, z.B. in DGGT 2000a und MELCHIOR et al. (2001).

Der vorliegende Beitrag will daher schlaglichtartig einige ausgewählte Themen zum Einfluss der Rekultivierungsschicht und des Entwässerungssystems auf die Hydrologie und das Verhalten des gesamten Oberflächenabdichtungssystems beleuchten und Thesen zu aktuell diskutierten Fragen entwickeln, die im Vortrag anhand einiger Beispiele und Beobachtungen aus der Praxis erläutert werden sollen. Der Beitrag erhebt nicht den Anspruch, die Ableitung der Thesen im Detail nachvollziehbar zu dokumentieren. Diese Aufgabe muss späteren Arbeiten vorbehalten bleiben.

2 Rekultivierungsschicht

Allgemeine Anforderungen

Die Anforderungen an die Rekultivierungsschicht werden in Anhang 5 der Deponieverordnung (DepV 2002) geregelt. DGGT (2000b) erläutert die Entwurfsgrundsätze von Rekultivie-

¹ Im Jahre 2002 wurde hierzu von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik ein Status-Workshop veranstaltet, der einen guten Überblick über die zahlreichen Großlysimeter- oder Testfelduntersuchungen in Deutschland sowie über die Ansätze zur Laboruntersuchung und Modellierung der hydrologischen und bodenmechanischen Prozesse gibt (RAMKE et al. 2002).

rungsschichten. Aktuelle Hinweise zur Konkretisierung der Anforderungen für die Anwendung in der Praxis siehe MELCHIOR (2006).

Oberflächenabfluss und Erosion

Der Oberflächenabfluss auf Oberflächenabdichtungssystemen wird häufig überschätzt, was u.U. zu überzogenem Aufwand für die Errichtung von Fassungs systemen führt. Abgesehen von sehr niederschlags- und schneereichen Regionen tritt Oberflächenabfluss vor allem während und kurz nach der Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems auf, wenn die Bodenoberfläche noch unbewachsen ist und wenn der Boden aufgrund eines Mangels an kontinuierlichen wasserleitenden Poren eine unzureichende Infiltrationskapazität hat. Ein bodenschonender Einbau und eine schnelle Begrünung der Rekultivierungsschicht sind die besten Maßnahmen zum Erosionsschutz. Praxisbeispiele zeigen, dass selbst Rekultivierungsschichten auf langen und steilen Böschungen aus sehr erosionsanfälligen Lössböden niederschlagsreiche Winterhalbjahre ohne Vegetationsbedeckungen ohne Erosion überstehen können, wenn Sie an ihrer Oberfläche nicht verdichtet werden.

Stauwasserbildung

Ein lagenweiser Einbau der Rekultivierungsschicht mit Kettenfahrzeugen (Moorraupen oder schwerer) kann während der nassen Jahreszeit zur Bildung von Stauwasser führen. Stauwasser innerhalb der Rekultivierungsschicht hat zahlreiche unerwünschte Folgen:

- Gefahr von unkontrollierten Wasseraustritten an der Böschung mit Erosion
- Luftmangel für den Bewuchs und damit begrenzte Durchwurzelungstiefe (reduzierte Verdunstung, geringere Stabilität des Bodens)
- Reduzierte Böschungstabilität infolge Wasser- und Strömungsdruck
- Bildung eines anaeroben Milieus mit der Gefahr der Lösung und Verlagerung von Stoffen, die zur Verockerung von Vliesen, mineralischen Filtern und Dränelementen führen können

Die Einbaudichte der Rekultivierungsschicht sollte daher gleichmäßig (nicht notwendigerweise sehr gering) sein und der Bauablauf so gewählt werden, dass horizontale Lagenübergänge infolge von Materialwechseln oder Dichteunterschieden vermieden werden. Insbesondere im Unterboden sollten schädliche Bodenverdichtungen vermieden werden, da sie dort sehr langfristig erhalten bleiben.

Stoffverlagerung und Verockerung

Die Lösung und Verlagerung von zweiwertigem Eisen und Mangan und die Fällung in dreiwertiger bzw. vierwertiger Form als Oxide und Hydroxide (sogenannter „Eisenocker“ oder „Raseneisenerz“) sind Prozesse, die aus wechselfeuchten, staunassen natürlichen Böden und aus der Dränung in der Landwirtschaft gut bekannt sind. Das Potential für solche Verockerungsprozesse hängt in Oberflächenabdichtungssystemen von mehreren Faktoren ab:

- Gehalte der Rekultivierungsschicht an gelösten und leicht löslichen Eisen- und Manganverbindungen
- günstiges chemisches Milieu für die Lösung und den Transport der Verbindungen in der Rekultivierungsschicht (niedriges Redoxpotential, d.h. anaerobe Bedingungen in Stauhorizonten, niedriger pH-Wert, ggf. Anwesenheit von organischen Komplexbildnern)

- günstige Bedingungen für die Oxidation und Fällung im Entwässerungssystem (Sauerstoffzutritt, steigender pH-Wert, Fällung bevorzugt an Schichtgrenzen mit stark unterschiedlichen Porensystemen)

Verockerung kann nachweislich sowohl mineralische als auch geosynthetische Dränelemente sowie Kapillarsperren gefährden. Anfällig sind insbesondere Vliese, aber auch Dränleitungen und Schächte.

Verockerung ist ein komplexer physiko-chemischer Prozess, an dem auch Bakterien beteiligt sein können. Er ist schlecht im Sinne einer Prognose quantifizierbar. Zum gegenwärtigen Kenntnisstand muss der Verockerung des Dränsystems daher vorbeugend mit ausreichenden Systemreserven begegnet werden. Sicherheit gegen Verockerung kann durch die Wahl diesbezüglich unverdächtigere Materialien für die Rekultivierungsschicht (geringe lösliche Eisen- und Mangananteile, neutraler pH-Wert), durch eine Einbautechnik, die eine ausreichende Durchlüftung der Rekultivierungsschicht sichert, durch ein möglichst hohes Porenvolumen des Dränelements sowie durch eine Verhinderung der konvektiven Luftströmung im Dränelement gewonnen werden.

Böschungstabilität

Häufig wird als Schlussfolgerung aus Standsicherheitsbetrachtungen, die auf der Grundlage der üblichen Rechenverfahren und der üblichen Rahmenscherversuche angestellt werden, ein verdichteter Einbau der Rekultivierungsschicht gefordert, da mit einer Erhöhung der Einbaudichte eine größere Zahl von Kornkontakten und in der Folge ein größerer Reibungswinkel erwartet wird. Obwohl der Zusammenhang im Grundsatz zutrifft, greift diese Betrachtung aus mehreren Gründen zu kurz. Zum ersten wird bei dieser Argumentation die Frage der Standsicherheit einzig auf den Winkel der inneren Reibung reduziert. Die Böschungstabilität im übergreifenden Sinne hängt jedoch nicht nur von der Scherfestigkeit, sondern auch von den bodenhydrologischen Verhältnissen ab. Erosion ist durch eine ausreichende Infiltrationskapazität der Rekultivierungsschicht zu vermeiden. Um gesättigte Verhältnisse mit Wasser- und Strömungsdrücken in der Rekultivierungsschicht und somit Standsicherheitsprobleme von Böschungen zu vermeiden, muss die Rekultivierungsschicht kontinuierliche wasserleitende Grobporen enthalten, die bei hohen Einbaudichten jedoch zerstört werden, so dass Stauschichten entstehen. Zum zweiten sind die Standardscherversuche nur sehr begrenzt geeignet, das Reibungsverhalten von aggregierten Rekultivierungsböden realitätsnah zu messen, da die Geräte zu klein und die Laststufen zu hoch sind. Versuchsergebnisse legen nahe, dass die Einbaudichte vor allem die Kohäsion und weniger den Winkel der inneren Reibung erhöht. Vor allem aber sind locker geschüttete, ton- und schluffhaltige Böden im Regelfall aggregiert und dieses Bodengefüge trägt durch die Aggregatstabilität zur Scherfestigkeit der Rekultivierungsschicht bei (die Aggregatstabilität muss beim Schervorgang erst überwunden werden, bevor die aus dem Kornaufbau des Bodens resultierende innere Reibung zum tragen kommt). Zum dritten sind die Lagerungsverhältnisse (Trockendichte, Porengrößenverteilung) der Rekultivierungsschicht keine Konstante, sondern im Gegenteil ausgesprochen dynamisch. Durch Sackungsprozesse, Bodenfrost, Trocken-Nass-Zyklen, Durchwurzelung und weitere bodenbiologische Aktivitäten setzt mit dem Einbau bereits eine Bodenreifung ein, die die aus verschiedenen Gründen die Stabilität der Rekultivierungsschicht verbessert und u.a. auch zu einer Erhöhung der Trockendichte von locker eingebauten Rekultivierungssubstraten führt. Auch wenn am Ende der Bodenreifung sogar eine ähnlich hohe Trockendichte des Bodens herrschen sollte wie sie sich möglicherweise gleich von Anfang an durch verdichteten Einbau herstellen ließe, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Boden ein für die Böschungstabilität günstiges, der Stauwasserbildung vorbeugendes Gefüge aufweist, ungleich höher, wenn der Boden beim Einbau nicht überverdichtet wird.

Inwieweit die genannten Faktoren und Aspekte versuchstechnisch angemessen erfasst und in Standsicherheitsnachweisen für Rekultivierungsschichten berücksichtigt werden können, ist bislang noch nicht geklärt und wird sicherlich Gegenstand weiterer Forschungen und Praxisberichte sein. Es mehren sich jedoch die Praxisbeispiele und Veröffentlichungen, die diese Thematik beleuchten und den Schluss nahe legen, dass die Schaffung günstiger bodenhydrologischer Verhältnisse durch den Einbau der Böden mit einem ausreichenden Anteil wasserleitender Grobporen dem Versagen von Böschungen weit besser vorbeugt als ein verdichteter Einbau mit dem Ziel eines erhöhten Reibungswinkels.

3 Entwässerungssystem

Allgemeine Anforderungen

Die Anforderungen an das Entwässerungssystem von Oberflächenabdichtungssystemen werden in Anhang 1 der DepV (2002) geregelt. Die hydraulischen Grundlagen und die Bemessung werden ausführlich in DGGT (2003) und RAMKE (2002) dargestellt.

Aufbau mineralischer Entwässerungsschichten

Mineralische Entwässerungsschichten können sehr unterschiedliche Leistungsfähigkeiten und Beständigkeiten haben. Die Schichtdicke ist demgegenüber erstaunlich wenig variabel. Das Spektrum der eingesetzten Materialien reicht von Sand über Kiese unterschiedlicher Körnung aus gebrochenem und rundem Korn bis hin zu Kies 16/32 aus gewaschenem Rundkorn. Gelegentlich werden auch Recyclingbaustoffe vorgeschlagen.

Aufbau von Dränmatten

Auch Dränmatten werden in sehr unterschiedlichen Bauarten und Qualitäten angeboten. Es gibt Matten aus verklebten Schaumstofflocken mit kaum definierten Werkstoffen. Seit langem werden auch Verbundsysteme aus Kunststoff-Wirrgelagen, Monofilamenten oder Geogittern im Dränkern und Vliesstoffen an der Ober- und meist auch der Unterseite angeboten und eingesetzt, die sich von Hersteller zu Hersteller und von Produkt zu Produkt bei ähnlichem Aussehen stark unterscheiden können (unterschiedliche Werkstoffe, Flächengewichte, Dicken, Öffnungsweiten der Vliese und Fertigungstechniken). Schließlich sind Hohlrippenelemente mit Deckvliesen auf dem Markt. Die Vielfalt der Produkte und die technische Entwicklung der letzten Jahre legen es nahe, Dränmatten ebenso wie mineralische Entwässerungsschichten differenziert zu betrachten.

Bemessung des Entwässerungssystems

Ob mineralisch oder aus Kunststoff: Das Dränsystem ist projektspezifisch zu bemessen. Es sind ausreichende Reserven für das Langzeitverhalten vorzusehen, und es ist nicht das Dränsystem allein, sondern sein Zusammenwirken mit der Rekultivierungsschicht und mit der Dichtung zu untersuchen.

Die Bemessung von mineralischen Entwässerungsschichten ist seit langem erprobte Praxis. Die gängigen Rechenansätze (DGGT 2003, RAMKE 2002) enthalten große Sicherheiten, so dass mineralische Entwässerungsschichten häufig überdimensioniert werden und sehr hohe Reserven gegen Alterungsprozesse wie Verockerung enthalten.

Die hydraulischen Nachweise für Dränmatten wurden in der Vergangenheit demgegenüber häufig sehr „optimistisch“ geführt, indem das an fabrikneuen Proben bei günstiger Bettung

ermittelte Wasserableitvermögen ohne ausreichende Abminderung zur Berücksichtigung von Langzeiteffekten und Einwirkungen aus dem Einbau zugrunde gelegt wurde.

Die Richtlinie der BAM (2003) und darauf aufbauende Eignungsgutachten der BAM versuchen diese Defizite zumindest bezüglich der Langzeiteffekte zu beseitigen, indem das Langzeit-Scherverhalten und das Langzeit-Wasserableitvermögen mit den im Deponiebau üblichen Beständigkeitsansprüchen untersucht werden. Dies wird zukünftig zu einer sichereren Anwendung von Dränmatten und vermutlich auch zu einer besseren Qualität von Dränmatten führen. Die BAM bewertet in ihren Eignungsgutachten hinsichtlich der Bemessung allerdings nur die Abminderungsfaktoren für die kunststofftechnischen Produkteigenschaften (Teilsicherheitsbeiwerte für den Materialwiderstand) und löst nicht das Problem der Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen unter Baustellenbedingungen. Für die Projektverantwortlichen ist dieses, da sie in der Regel über weniger Sachverstand zu geosynthetischen Dränelementen verfügen als die BAM, ein nicht gänzlich befriedigender Zustand, insbesondere auch weil von Produkten, die von der BAM zugelassen oder positiv eingungsbeurteilt wurden, landläufig eine universelle Verwendbarkeit im Deponiebau erwartet wird (was wiederum nicht unbedingt der BAM anzulasten ist).

Gefährdung von mineralischen Entwässerungsschichten und Dränmatten

Mineralische Entwässerungsschichten aus Kies weisen ein hohes Wasserableitvermögen und ein sehr hohes Porenvolumen² auf. Häufige Probleme sind:

- Haftkornanteile, die nach Einbau ausgewaschen und verlagert werden können (und die schlechte Angewohnheit haben, sich in ungünstigen Engpässen des Fassungssystems abzulagern)
- Entmischungen beim Transport
- Feinkorneintrag durch Verunreinigungen auf der Baustelle (im Zwischenlager, durch Fahrzeuge, durch Wind oder durch Oberflächenwasser aus bereits überschütteten Bereichen)
- unzureichende Kornstabilität

Dränmatten können demgegenüber die folgenden Probleme aufweisen:

- vergleichsweise geringes Gesamtporenvolumen
- Kriechen und Zusammendrückung unter Last (insbesondere bei alten Werkstoffen und dünnen Produkten)³. Die Zusammendrückung kann bei bestimmten Produkten dazu führen, dass das obere Vlies so stark in den Dränkern gedrückt wird, dass es in direktem Kontakt mit dem Vlies an der Unterseite der Dränmatte gerät. Das Wasser muss diese Bereiche dann umfließen oder sehr viel langsamer durchsickern als es im Dränkörper ansonsten der Fall wäre.
- Eintrag von Feinboden, Verockerungen und Wurzeln
- Verlegefehler: Die Verlegung von Dränmatten ist wesentlich fehleranfälliger als es auf den ersten Blick scheint. Aufgrabungen haben zahlreiche Überlappungen ergeben,

² Bei einem Porenanteil von 0,35 und einer Dicke von 30 cm enthält eine mineralische Entwässerungsschicht ein Porenvolumen, das zusammengenommen eine Höhe von rund 10 cm einnehmen würde und somit ein Vielfaches der gesamten Dicke von Dränmatten beträgt.

³ An alten Dränmatten wurden nach einigen Jahren Liegezeit Dicken des Dränkerns von wenigen Millimetern bestimmt.

die nicht den Vorschriften der Verlegeanleitungen entsprechen und zu erheblichen Anteilen so fehlerhaft waren, dass die Funktion der Dränmatte in diesen Bereichen stark eingeschränkt war. Ob solche Fehler bereits bei der Vorkonfektionierung im Werk, bei der Verlegung auf der Baustelle oder beim Überschütten der Dränmatte mit Rekultivierungsboden entstehen, kann bei Aufgrabungen nicht immer entschieden werden. Ein Verlegeplan und eine intensive Qualitätsüberwachung der Verlegung sind in jedem Fall empfehlenswert.

Viele der genannten potentiellen Probleme von mineralischen und geosynthetischen Dränelementen können durch die Qualitätssicherung und durch eine Verbesserung der Werkstoffe, Produkte und Bauweisen in Überlappungsbereichen vermieden werden.

4 Schlussbemerkung

Die Materialwahl und Einbautechnik der Rekultivierungsschicht und der Aufbau des Dränsystems (mineralisch oder geosynthetisch) werden zuweilen sehr kontrovers diskutiert. Die Diskussionen werden u.a. auch deshalb gelegentlich mit einer gewissen Schärfe geführt, weil vorgefasste Meinungen in Frage gestellt werden (z.B. die Auffassung, dass eine geringere Einbaudichte zwangsläufig die Böschungsstabilität reduziert), weil Fachleute und Firmenvertreter aus unterschiedlichen Fachrichtungen aufeinandertreffen (Kunststoff vs. Boden) und weil es nicht zuletzt natürlich auch ums Geld geht. Die zuweilen emotional geführten Kontroversen sind bedauerlich und insofern auch unverständlich, als dass dadurch sowohl technische als auch wirtschaftliche Chancen nicht erkannt und nicht genutzt werden. Durch einen geschickten und den Randbedingungen des Projekts angepassten Schichtaufbau, durch eine kompetente Materialwahl und Bemessung sowie durch eine fachgerechte Bauablaufsteuerung und Qualitätssicherung lassen sich nicht nur technische Risiken, die zu Problemen am fertigen Bauwerk führen können (Verockerung, Standsicherheitsprobleme) vermeiden, sondern auch unnötige Massen und überflüssige Komponenten einsparen. Entscheidend ist, dass im Zuge der Planung ein in sich stimmiger und an die projektspezifischen Randbedingungen angemessen angepasster Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems entwickelt wird und diese Lösung einschließlich des damit definierten Sicherheits- und Qualitätsniveaus mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt und im Bauvertrag fixiert wird. Bei der Realisierung der Maßnahme ist dann entscheidend, dass der Bauherr (und die Genehmigungsbehörde) für das investierte Geld die Leistung mit Unterstützung der Bau- und Fremdüberwachung mangelfrei und in der vereinbarten Qualität erhält.

5 Literatur

BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (2003): BAM-Richtlinie: Eignungsnachweis für Kunststoff-Dränelemente in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Eigenverlag, 21 S. (download unter www.bam.de/deponietechnik.htm)

DepV - Deponieverordnung (2002): Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 10.07.2002. BGBl. I Nr. 52, S. 2807, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 12.08.2004, BGBl. I Nr. 44, S. 2190

DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2003): Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. In: Bautechnik, Heft 9, 17 S. (download unter www.gdaonline.de)

DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2000a): Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-30 Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme

von Deponien. In: Ramke, H.G., K. Berger & K. Stief (Hrsg): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 47, S. 251-274. (download unter www.gdaonline.de)

DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2000b): Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-31 Rekultivierungsschichten. In: Ramke, H.G., K. Berger & K. Stief (Hrsg): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 47, S. 275-293. (download unter www.gdaonline.de)

DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2000c): Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-32 Gestaltung des Bewuchses auf Abfalldeponien. In: Ramke, H.G., K. Berger & K. Stief (Hrsg): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundl. Arbeiten, 47, S. 294-299. (download unter www.gdaonline.de)

Melchior, S., K. Berger & V. Sokollek (2001): Wasserhaushalt von Oberflächenabdichtungssystemen. In Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4338. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 26 S.

Melchior, S. (2006): Materialwahl und Einbautechnik von Rekultivierungsschichten. In: Stahlmann, J. (Hrsg.): Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik TU Braunschweig. Heft 83, S. 27 - 45. (download unter www.mplusw.de)

Ramke, H.-G. (2002): Oberflächenwassersammlung und -ableitung. In Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4542. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 65 S.

Ramke, H.-G., E. Gartung, G. Heibrock, W. Lükewille, S. Melchior, B. Vielhaber, K. Bohne, U. Maier-Harth, K.-J. Witt (Hrsg.) (2002): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Tagungsband zum Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, Bd. 3, 474 S.

Anschrift des Verfassers

melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft
Karolinenstraße 6
20357 Hamburg
T.: 040 / 430 950 - 0
F.: 040 / 430 950 - 20
www.mplusw.de