

Rück- und Vorblick auf geotechnische Herausforderungen des Deponiebaus

Karl Josef Witt

Professur Grundbau, Bauhaus-Universität Weimar

1. Einleitung

Die Geschichte der Abfallerzeugung, -verwertung und -ablagerung dürfte so alt sein, wie die Geschichte der Menschheit. Eine gesellschaftliche Relevanz dieser Aspekte kam spätestens mit der Industrialisierung gegen Ende des 18. Jahrhunderts auf, als mit der industriellen Produktion und der Konzentration der Urbanisierung zunehmende Mengen von urbanen, industriellen und bergbaulichen Abfällen mit teilweise toxischen Eigenschaften anfielen. Der den heutigen Generationen der Industriegesellschaft selbstverständliche Kreislauf in der Abfallwirtschaft wurde damals dadurch verfolgt, dass man den Abfall im Glaube an die Verträglichkeit der aus der Natur gewonnenen Produkte mit ihrem Ursprung in jede Art von Gruben eingebracht oder in Talwurzeln und an Talhängen verkippt hat. So wie zu einem ordentlichen Bauernhof ein Misthaufen gehörte, hatten jede Siedlung und viele Industriestandorte ihre Abfallkippe, von der eine nicht quantifizierbare schädliche Beeinträchtigung der Umwelt ausging. Aus diesem Defizit heraus entstand der moderne Deponiebau.

Der Beitrag behandelt kurz die Entwicklung des Deponiebaus aus diesen Anfängen heraus, zeigt die dabei gewonnenen geotechnischen Erkenntnisse und deren Umsetzung sowie die administrativen Folgen auf und versucht schließlich, einige der offenen Fragen und damit zukünftige Aufgaben zu beleuchten.

2. Rückblick

Aus dem historischen Irrtum, toxische Abfälle dem natürlichen Kreislauf der Natur zu überlassen, der mit der Beseitigung von Kriegsschäden und durch innerstädtische Industriebrachen potenziert wurde, erwuchs gegen Ende des 20. Jahrhunderts die Umweltgeotechnik, damals ein florierendes Arbeitsgebiet für innovative Ingenieure und Geologen. Die Themenfelder waren zunächst die Erkundung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen, von Altlasten und Altablagerungen. Zunehmend trat jedoch der vorbeugende Schutz der Umwelt in den Vordergrund, der Schutz des Bodens, des Grundwassers und der Luft im Einflussbereich von industriellen und urbanen Abfallablagerungen. Dies führte schließlich zu den Anfängen der geordneten Ablagerung von Abfällen auf ingenieurmäßig geplanten und baulich vorbereiteten Deponien. In den geotechnischen Fachkreisen galt Deponiebau damals noch eher als ein schmutziges Geschäft. Geradezu als Rechtfertigung hatten die ersten Tagungen und Seminare daher Themen wie „Die Deponie - Ein Bauwerk?“ oder „Die sichere Deponie“.

Schadensfälle, Negativerfahrungen und Folgen technischer Fehleinschätzungen führten in Deutschland ab etwa 1980 zu einer Sensibilisierung und zum kritischen hinterfragen von Quali-

tät und Beständigkeit der bis dahin geplanten und gebauten Schutzmaßnahmen. Mit der Forderung des Multibarrierenkonzeptes [STIEF 1986] kam in die geordnete Ablagerung und in die dazu notwendigen Schutzmaßnahmen rasch eine Dynamik. Auf der Grundlage von empirisch begründeten Prognosen der Leistungsfähigkeit von Abdichtungs- und Entwässerungssystemen wurde in Regelwerken der damals gültige technische Standard definiert. Mit den ersten Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik, GDA 1987, der TA ABFALL 1991, der TA SIEDLUNGSABFALL 1993 und mit der Klassifizierung von Abfall auf der Grundlage der Gefährlichkeit wurde international gesehen Pionierarbeit geleistet. Die Erfahrungen des Deponiebaus wurden erstmals in Buchform zusammengefasst, Wissenschaft, Verbände, Bundesbehörden, Kompetenzzentren der Zulassung und die Bauaufsicht initiierten ein vom damaligen BMBF gefördertes Verbundforschungsvorhaben [DRESCHER 1997, AUGUST ET AL. 1998].

Triebfeder der Forschung und Entwicklung waren stets spektakuläre Umweltschäden und Sanierungsfälle, in Deutschland z. B. die Deponie Georgswerder, in nahezu allen Bundesländern ökologische Großprojekte verlassener Industriestandorte, die Sanierung und Folgenutzung der Hinterlassenschaften des Braunkohle- und des Uranbergbaus in den neuen Bundesländern. Begleitet wurde dieser Prozess von der gesellschaftspolitisch aufkommenden technischen Frage „Wie sicher ist sicher genug?“ und von der Frage nach der Akzeptanz technischer Risiken [LANGE 1984]. Vergleichbare Entwicklungen gab es in den USA. Dort initiierte in den späten 70er Jahren der Love Canal mit den folgenden Sanierungsbemühungen einen vorbeugenden Umweltschutz, die Entwicklung angemessener Sanierungstechnologien und gesetzliche Vorgaben des Umweltschutzes [ROWE 1998, V. MAUBEUGE 2014].

Zu den bis dahin in Deutschland mit objektspezifischer Dicke und Wasserdurchlässigkeit hergestellten mineralischen Basisabdichtungen von Abfalldeponien aus Schluffen, Tonen oder vergüteten mineralischen Böden kam mit der Umsetzung des Multibarrierenkonzeptes die Kombinationsabdichtung als Vorzugslösung zur Anwendung. Vom Wasserbau kommend fanden Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) ab Mitte der 80er Jahre Anwendung, wobei sich ausgehend von der „Schlegel-Platte“ aus Niederdruck-Polyethylen in Deutschland rasch die 2,5 mm dicke KDB aus Hochdruck-Polyethylen (PE-HD) etabliert hat. Qualitätsanforderungen wurden von Seiten der Geotechnik an die Funktion, Handhabbarkeit [GARTUNG 1994], Materialbeständigkeit und Qualitätssicherung [MÜLLER 2001] formuliert. Als Alternative zur KDB wurde gelegentlich auch Asphaltbeton als konvektives Abdichtungselement verwendet.

Mit den beiden Verwaltungsvorschriften TA-ABFALL 1991 und TA-SIEDLUNGSABFALL 1993 wurde der Standard des Aufbaus und der Materialien von Deponiebasis- und Deponieoberflächenabdichtungssystemen für die damals definierten Deponieklassen (DK I bis III) angeordnet. Für den Neubau und den Abschluss von Deponien für Siedlungsabfälle (DK II) war für beide Abdichtungssysteme eine Kombinationsabdichtung mit einem mineralischen Abdichtungselement und einer KDB mit einer Mindeststärke von 2,5 mm als Regel festgeschrieben. An der Basis wurde für das mineralische Abdichtungselement eine Mächtigkeit von $d \geq 75$ cm und ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s gefordert (TA-ABFALL, Abs. 10.4.1.3). Die darüber liegende Entwässerungsschicht aus grobem Kies war mit einer Stärke von 50 cm vorgegeben. Zur Abdichtung der Deponieoberfläche sollte die mineralische Abdichtung eine Mindestmächtigkeit von $d = 50$ cm und einen Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k \leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s aufweisen (TA-ABFALL, Abs. 10.4.1.4). Das Abdichtungssystem sollte durch eine ≥ 30 cm dicke mineralische Entwässerungsschicht und eine ≥ 1 m mächtige Rekultivierungsschicht überdeckt sein.

Zur Angleichung an Europäisches Recht wurden beide Verwaltungsvorschriften durch die DEPONIEVERORDNUNG (DEPV 2009) ersetzt. Hierdurch ergab sich ein etwas größerer Gestaltungsspielraum in der Kombination von Abdichtungselementen. Der geologischen Barriere, also der Schutzwirkung des natürlichen Baugrundes der Deponie, wurde eine größere Bedeutung und quantitativ eine stärkere Rückhaltefunktion zugewiesen. Für die Basisabdichtung einer Deponie der Klasse DK II wurde zwar die Mindestmächtigkeit des mineralischen Abdichtungselementes von $d = 0,75$ cm auf $d = 0,50$ cm ($k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s) reduziert, an die geologische Barriere wird nun anstatt einer Wasserdurchlässigkeit $k \leq 10^{-7}$ m/s über eine Schichtmächtigkeit von 3 m ein Wert $k \leq 10^{-9}$ m/s über eine Schichtmächtigkeit von 1 m gefordert. Der theoretisch mögliche konvektive Fluss ändert sich dadurch nicht, jedoch erhöht sich die Verweildauer einer Durchsickerung von ehemals 9,7 auf 12,6 Jahre (Annahme: dränierbare Porosität $n = 20$ %). Für eine Deponie der Klasse DK III trifft dies sinngemäß zu. Dort erhöht sich unter sonst gleichen Bedingungen die theoretische Verweildauer eines Wasserteilchens bei Einhaltung der Mindestanforderungen der DEP 2009 von 19,2 auf 38 Jahre. In Anbetracht der Sperrwirkung von ungesättigten geringdurchlässigen mineralischen Materialien ist der Unterschied einer Durchsickerung aus geotechnischer Sicht nicht signifikant. Eine Abdichtung nach DEP 2009 hat jedoch in Verbindung mit der geologischen Barriere aufgrund der Materialanforderungen ein vergleichsweise höheres Rückhaltepotential und damit eine höhere Schutzwirkung für den Wirkungspfad Deponie-Grundwasser.

Der ursprünglich in TA-ABFALL 1991 und nachfolgend in der DEP 2009 als Basisabdichtungssystem definierte Standard der Kombinationsabdichtung mit mineralischer Entwässerungsschicht hat sich auch im Rückblick als eine hinreichend robuste Lösung erwiesen. Aufgrabungen, national wie international durchgeführte wissenschaftliche Labor-Untersuchungen sowie die Übertragung von Analogien von natürlichen Ton-Lagerstätten lassen vermuten, dass mit dieser Konstruktion der Basisabdichtung die Anforderungen an den Umweltschutz in angemessener Weise erfüllt werden. Ein Beweis der Langzeitfunktion über die angestrebte Nutzungsdauer von weit über 100 Jahren steht allerdings sowohl für das polymere, als auch für das mineralische Abdichtungselement aus.

Der in TA-ABFALL 1991 als Oberflächenabdichtungssystem definierte Regelaufbau einer Kombinationsabdichtung, bestehend aus mineralischem Abdichtungselement, KDB und mineralischer Entwässerungsschicht, hat sich dagegen weder bewährt noch durchgesetzt. Mit der Öffnung für alternative, in ihrer Schutzwirkung gleichwertige Systeme kommt bis heute eine Vielzahl von Varianten zur Ausführung. Technische Anforderungen sind in RAMKE ET AL. 2007 formuliert. Die Übertragung der Erfahrungen und Anforderung von der Basis zur Oberfläche haben sich als nicht optimal erwiesen [WITT 2008, ROWE 2009]. Nach Einschätzung des Autors hat sich seit Inkrafttreten der DEP 2009 bei den meisten Maßnahmen zur Abdichtung von Deponieoberflächen in Deutschland aus technischen, genehmigungsrechtlichen und ökonomischen Erwägungen heraus eine Kombinationsabdichtung aus Bentonitmatte und KDB in Verbindung mit einem Kunststoffdränelement als System durchgesetzt. Dies ist auch eine konsequente Folge der Entwicklung und Vermarktung geosynthetischer Produkte. Eine umfassende Übersicht über in Deutschland gebaute Systeme und Entwicklungen bis zur Einführung der DEP 2009, eine Zusammenfassung von Systemvergleichen, Erfahrungen und eine Bewertung finden sich in MELCHIOR ET AL. 2010 und MELCHIOR 2014. Erfahrungen zu den Anforderungen und zur Leistungsfähigkeit von Wasserhaushaltsschichten werden u. a. von STOCK 2013 berichtet.

Die Anforderung an die Standsicherheit des Abfallkörpers und an die der Abdichtungssysteme

wurde bereits in den ersten Vorschriften und Regelwerken thematisiert [STIEF, ENGELMANN 1992]. Empfehlungen zu Nachweismethoden wurden bereits in der ersten Auflage der GDA-Empfehlungen aufgenommen und fortlaufend mit dem Stand des Wissens aktualisiert. Die Abfallmechanik hat hierzu eine grobe Beschreibung der Steifigkeit, Scherfestigkeit und der Verformungseigenschaften von Siedlungsabfällen geliefert. Die verschiedenen Szenarien lassen sich mit den bewährten Methoden der Bodenmechanik modellieren und berechnen. Die Unschärfe der Prognose der Standsicherheit, über den Lebenszyklus einer Deponie betrachtet, liegt allein im Ansatz der angemessenen Einwirkungen und Widerstände, in der realitätsnahen Annahme der hydraulischen Belastung einerseits, in der zutreffenden Festlegung der mobilisierbaren Kennwerte des Abfallkörpers sowie der Materialien der Abdichtungssysteme andererseits. Eine systematische Bewertung und eine kritische Sicht auf die verbleibenden Unsicherheiten in der Beschreibung der heute vorbehandelten Abfälle gibt WITT 2014. Hier stehen vor allem die mechanisch biologisch vorbehandelten Abfälle im Fokus.

In einem zusammenfassenden Rückblick auf die geotechnischen Herausforderungen des Deponiebaus müssen die Aspekte Basisabdichtung, Abfallkörper und Oberflächenabdichtung in ihrer Zusammenwirkung betrachtet werden. Herausfordernd waren zunächst die Auswahl geeigneter und die Entwicklung von neuen Materialien, die Bautechniken und die Qualitätssicherung zum Bau der Abdichtungssysteme unter dem Aspekt der erwarteten langen Funktionsdauer von weit über 100 Jahren. Auf Seiten der Materialien war dies das Stoffverhalten mineralischer Materialien unter den bis dahin unbekanntem chemischen, biologischen und thermischen Einwirkungen. Eine weitere Herausforderung war die Entwicklung oder Adaption verträglicher geosynthetischer Produkte für Abdichtungs-, Drainage- und Bewehrungszwecke. Für alle Materialien waren Qualitätsstandards der Beständigkeit zu formulieren. Bei all diesen Aspekten wurden kontinuierlich mit den GDA-Empfehlungen Erfahrungen zusammengetragen. Mit der Umsetzung der DEPV 2009 wurden mit den nahezu vollständigen Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) [BRÄCKER 2013, BRÄCKER 2014] administrative Vorgaben formuliert. So begrüßenswert die Festschreibung des Standes der Technik aus Sicht des Genehmigenden ist, wird bedauerlicherweise durch die Vielzahl der starren und formalen Vorschriften die Kreativität für eine eigenverantwortliche objektspezifische Lösung, gleichzeitig der Anreiz für Forschung und Entwicklung genommen. Aus der international ausstrahlenden Innovationskraft der Pioniertage des Deponiebaus ist national ein Skelett von starren Vorschriften geworden. Die Frage nach der Sinnhaftigkeit einer Lösung wird durch die nach der Genehmigungsfähigkeit erstickt. Das Regulativ ist oft der Sachbearbeiter der Genehmigungsbehörde, der nach der Erfahrung des Autors die Vorschriften im Detail beherrscht und auf der Anwendung besteht, jedoch nicht immer die technischen Zusammenhänge durchdringt. Vielleicht ist dies eine folgerichtige Konsequenz der starren Gesetzgebung und implizit ein Beleg dafür, dass Forschung und Entwicklung zu hinreichend praktikablen Ergebnissen gekommen sind.

3. Derzeitiger Stand und Vorblick

Basisabdichtungssystem

Das heute etablierte System der kombinierten Basisabdichtung mit der in Deutschland geforderten Qualität, bestehend aus einer Kunststoffdichtungsbahn und einem mineralischen Block in Interaktion mit einer geologischen Barriere, stellt nach Einschätzung des Autors einen hinreichenden Schutz vor einer schädlichen Verunreinigung des Bodens und des Grundwassers für

eine Deponie der Klasse II und III dar und ist bei tragfähigem Untergrund bei den vorherrschenden Einwirkkombinationen weit über den angestrebten Zeitraum von 100 Jahren hinaus funktionsfähig. Ein konvektiver Transport von Schadstoffen wird durch eine intakte KDB zuverlässig verhindert. Da als eine weitere Barriere auch die mineralische Abdichtungskomponente bei einer nur durch das Eigengewicht ohne Aufstau verursachten Porenströmung (Gradient $i \cong 1$) für einen konvektiven Transport von Schadstoffen und Sickerwasser quasi technisch undurchlässig ist, bietet das System hinreichend Redundanz.

Ein geringer diffusiver Transport von organischen Schadstoffen durch eine PE-HD Kunststoffabdichtungsbahn kann akzeptiert werden. Der diffusive Transport durch eine mineralische Abdichtung der geforderten Qualität und durch eine geologische Barriere ist für organische wie für anorganische Materialien sowohl in der zeitlichen Entwicklung, als auch in der Quantität sehr gering. Selbst unter ungünstigen Annahmen und Bedingungen haben Aufgrabungen, Laborversuche wie auch Modellrechnungen gezeigt, dass z. B. verschiedene Chloride in einem Zeitraum von ca. 100 Jahren diffusiv nicht mehr als einen Meter in ein mineralisches Abdichtungsmaterial und in die geologische Barriere eindringen [ROWE 2009, HENKEN-MELLIES & AXMANN 2012, PAUL 2013]. Die zusätzliche Forderung nach einer hohen Kationenaustauschkapazität des Abdichtungsmaterials hält der Autor nicht für erforderlich. Selbst das Adsorptionsvermögen eines smektitischen Tons wäre im Falle einer Leckage bei ständiger Benetzung mit Deponiesickerwasser bald erschöpft. Die Ausbreitung von Schadstoffen im mineralischen Block des Abdichtungssystems kann allein durch den geringen konvektiven und diffusiven Massenfluss in einem Material mit einem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert $k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ und einem entsprechend geringen Diffusionskoeffizienten (z. B. für Chlorid $D_{\text{eff}} \leq 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$) geregelt werden.

Nicht vollständig geklärt ist der Einfluss der durch den Abfall und das Sickerwasser auf das Abdichtungssystem aufgeprägten erhöhten Temperatur auf dessen Funktionsdauer. Dies betrifft sowohl das polymere, als auch das mineralische Abdichtungselement. Zwar lassen Laborversuche und auch thermisch mechanisch gekoppelte Modellierungen für den Regelaufbau nach DEP V 2009 eine Verträglichkeit über den vorgesehenen Nutzungszeitraum erwarten [THOMAS, HE, 1995, ROWE, 2009], ein allgemein übertragbarer Beweis in Form einer Aufgrabung von über mehrere Jahrzehnte thermisch belasteter Systeme und Untersuchung zu etwaigen Veränderungen der Eigenschaften liegen jedoch noch nicht vor.

Mineralische Basis-Entwässerungsschicht

Das Sickerwassersammelsystem der Deponiebasis, die mineralische Entwässerungsschicht nach DEP V 2009, Tab.1 (siehe auch GDA-Empfehlungen E 2-14) zählt zu den kritischsten Barrieren einer Deponie. Es hat das Sickerwasser zur Behandlung zu fassen und einen Aufstau von Sickerwasser auf dem Abdichtungssystem zu vermeiden. Das Langzeitfunktionsrisiko besteht im Verlust der Dränwirkung infolge von Zusetzen durch Inkrustation und biologische Prozesse. Während die Rohre der Sickerwasserfassung durch Spülen gewartet werden können, muss der flächige Dränkörper seine Langzeitfunktion aus einer Überdimensionierung des Porenraumes schöpfen. Dabei ist der Chemismus des Sickerwassers zum Zeitpunkt der Herstellung der Deponiebasis allenfalls abschätzbar, wird sich aber sicher mit geänderter Art und Menge der Abfälle in der Betriebsphase einer Deponie ändern. Die in den Vorschriften festgeschriebene und empfohlene Drainage aus einer flächigen, 50 cm starken Schicht aus Grobkies

der Körnung 16/32 ist nach Wichtung aller Erfahrungen und Überlegungen die derzeit bestmögliche Technik. Eine Reduktion der Dicke auf das Mindestmaß von 30 cm bei einem Nachweis der Dränkapazität, wie dies die DEPV 2009, Tab. 1, Fußnote 3, eröffnet, führt auf jeden Fall zu einer Minderung der bis dahin erreichten Robustheit und Zuverlässigkeit. Folge einer nicht ausreichenden Basisdränage sind ein Aufstau mit erhöhter hydraulischer Beanspruchung des Abdichtungssystems und ggf. lokale oder globale Standsicherheitsdefizite. Zur Maximierung der Funktionsdauer der mineralischen Entwässerungsschicht bleibt lediglich die Forderung einer möglichst frühen Oberflächenabdichtung, die in Einklang mit dem Wasserhaushalt des Abfallkörpers die Perkolat in den Abfallkörper, das Aufkommen an Sickerwasser und damit die Beanspruchung minimiert. Während der Betriebsphase wie auch nach Abschluss der Deponie und ggf. Abdichtung der Oberfläche hilft eine realitätsnahe Bilanzierung des Wasserhaushaltes des Abfallkörpers bei der Bewertung der Dränkapazität und unterstützend hierzu eine Beobachtung von Wasserständen oder Sickerwasserhorizonten im Abfallkörper.

Deponiekörper und Standsicherheit

Auch wenn die mechanische Modellierung von gemischtem, verdichtet eingebautem Siedlungsabfall (bis 2005) als zeitinvariantes bodenähnliches Material nur eine grobe Annäherung ist, zeigt sich, dass für einen Abfallkörper auf quasi ebener, söhlicher Aufstandsfläche mit einer heute üblichen Endböschung 1:n = 1:3 ($\beta = 18,3^\circ$) keine Standsicherheitsdefizite im Lebenszyklus zu erwarten sind. Eine Oberflächenabdichtung wirkt in dieser Hinsicht generell stabilisierend, da sie den Wassergehalt des Abfalls begrenzt und die Verformungen verlangsamt. Steilere Böschungen, Zwischenbauzustände und spezielle Abfallzusammensetzungen bedürfen einer genaueren Untersuchung.

Die heute und künftig mit MBA aufgesetzten Deponien unterscheiden sich in ihrem mechanischen und hydraulischen Verhalten jedoch grundlegend von dem früheren Siedlungsabfall. Die mobilisierbaren Scherparameter werden sehr stark von der Korngröße der Absiebung und der Art der Vorbehandlung bestimmt. Die Dichte, die Scherfestigkeit, die Zusammendrückbarkeit und der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert hängen vom Spannungsniveau und damit von der Deponiehöhe ab. Eine höhere Dichte wirkt stabilisierend, die damit verbundene Verringerung der Wasserdurchlässigkeit kann zu Problemen der Anfangsstandsicherheit und zu destabilisierenden Porenwasserdrücken führen. Die Schüttraten sind jedoch meist so langsam, dass eine Konsolidation unter dem zunehmenden Überlagerungsdruck zu erwarten ist. Der Nachweis der hinreichenden Entwässerung kann nicht rechnerisch erbracht werden. Hier liefern nur Felduntersuchungen verlässliche Ergebnisse.

Mit den empirisch gewonnenen mechanischen und hydraulischen Kennwerten für einen Deponiekörper aus MBA kann bei einer 1 : n = 1 : 3 geneigten Außenböschung ebenfalls eine hinreichende Langzeit-Standsicherheit erwartet werden, soweit der Abfall mit der Überlagerung dräniert. In Hinblick auf den sicheren Betrieb und den Abschluss der Nachsorgephase von MBA-Deponien ist jedoch die Verträglichkeit der Kompression der unteren Schichten mit zunehmender Schütthöhe standortspezifisch zu untersuchen [vgl. WITT 2014]. Ergänzend zu dem nach DEPV 2009 ohnehin geforderten Standsicherheitsnachweis muss die Frage eines möglichen Porenwasserüberdrucks bewertet werden. Einflussparameter sind die Kubatur des Deponiekörpers, die Schüttfolge sowie das hydraulische und mechanische Verhalten des MBA-Materials, das nach GDA E 3-6 und E 3-11 zu untersuchen ist. Für den Betrieb und die Nachsorge einer

MBA-Deponie folgen daraus zumindest Messungen der Wasserstände und die Beobachtung eventueller Sickerwasseraustritte.

Oberflächenabdichtungssystem

Im Vergleich der einzelnen Barrieren besteht bei der Oberflächenabdichtung bis dato die größte Unsicherheit bezüglich der Langzeitfunktion. Die Notwendigkeit der Minimierung einer Perkolation von Niederschlagswasser in den Abfallkörper nach Abschluss der Betriebsphase steht außer Zweifel. Die vertretbare Zielgröße liegt nach Interpretation der DEPV 2009 (Anhang 1, Teil 3, Tab. 2, Fußnote 5) für eine Deponie der Klasse DK II standortunabhängig bei 20 mm/Jahr (der Wert wurde von der Anforderung an eine Wasserhaushaltsschicht als Dichtungselement übertragen). Zur Erreichung dieser Vorgabe sind verschiedene Systeme im Einsatz, deren Qualität und Verletzlichkeit sich nur hinsichtlich der verwendeten Materialien, nicht jedoch hinsichtlich der Funktion in der Interaktion mit dem Abfallkörper objektiv vergleichen lassen. Die klimatische Einwirkung auf das Abdichtungssystem wie auch dessen mechanische Beanspruchung durch Nutzung und Zwangsverformungen sind standortspezifische Größen. Mit Ausnahme der als konvektiv undurchlässig anzusehenden Kunststoffdichtungsbahn hängt die Funktion der Abdichtungs- oder Rückhaltekomponenten stark von den unvermeidlichen weiteren Verformungen der Deponieoberfläche nach der Herstellung des Abdichtungssystems ab. Dränageschichten, mineralisch wie synthetisch, können im Laufe des sich entwickelnden Bewuchses verockern, durchwurzelt werden und dadurch einen Teil der Dränkapazität einbüßen. Wasserhaushaltsschichten können sich in ihrer Leistungsfähigkeit langfristig ändern. Insofern bestehen bei vielen Systemen konkurrierende Anforderungen hinsichtlich Dichtigkeit/Dränage und Rekultivierungsboden/Bewuchs.

Nach Einschätzung des Autors wird die Hoffnung auf eine wartungsfreie, über 100 und mehr Jahre andauernde Funktion einer Oberflächenabdichtung bei vielen Betreibern und Projektbeteiligten schon nach wenigen Dekaden enttäuscht werden. Eine der geotechnischen Herausforderungen ist die realitätsnahe Einschätzung der künftigen Einwirkungen und der Versuch einer ingenieurmäßigen Bemessung, welche ausgehend von den objektspezifischen Zielgrößen, regelmäßige, seltene und außergewöhnliche Beanspruchungen der Beanspruchbarkeit des Systems über seinen Lebenszyklus gegenüberstellt. Hiervon ist die mit Vorschriften und Handlungsanleitungen gesegnete Praxis, in der es im Wesentlichen um Qualitätsmerkmale geht, weit entfernt. Schon die Erfüllung der grundlegenden Forderung, dass ein Oberflächenabdichtungssystem erst nach Abschluss der Hauptsetzungen des Deponiekörpers aufgebracht werden darf, scheitert nicht nur an der Definition, was denn die Hauptsetzungen sind, sondern meist auch an den fehlenden Daten einer verwertbaren Vermessung, die eine ortsspezifische Prognose für den Abfallkörper erlaubt.

Eine weitere Herausforderung ist die Modellierung des Wasserhaushaltes in dem System. Trotz Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge und relativ verlässlicher lokaler Klimadaten ist es bis heute noch nicht gelungen, eine verlässliche Prognose des Wasserhaushaltes eines Abdichtungssystems zu erstellen [BENSON 2007, BENSON ET AL. 2007]. Ursache ist nicht primär die Qualität der verfügbaren Programme, welche die einzelnen Einflüsse unterschiedlich präzise berücksichtigen können. Die unzutreffenden Prognosen sind im Wesentlichen auf die Nichtlinearität der räumlich und zeitlich streuenden Eigenschaften des Rekultivierungsbodens zurückzuführen. Dass die meisten numerischen Programme die Infiltration in und die Perkolation

durch das Abdichtungssystem überschätzen, ist dabei nur ein schwacher Trost.

Eine Deponie ist ein Bauwerk, das sich aus Sicht des Ingenieurs mit einem Haus vergleichen lässt. Zu Beginn des Vorhabens werden Standort und Größe fixiert. Dann beginnt man mit dem Fundament, das nicht standardisierte Abmessungen erhält, sondern für die Beanspruchung durch das Bauwerk und die Beanspruchbarkeit des Baugrundes bemessen wird. Die Form des Daches ergibt sich aus gestalterischen Prinzipien und Vorlieben. Der Dachstuhl und die Dachhaut werden aber nach den Anforderungen an die Funktion und Tragfähigkeit geplant und das für einen Zeitraum von ca. 50 Jahren. Und wenn das Dach zwischendurch undicht wird, der Nutzer eine höhere Wärmedämmung, einen Aufbau oder eine geänderte Nutzung wünscht, muss es eben verstärkt, repariert oder erneuert werden. Warum soll das bei dem Dach einer Deponie anders sein?

Zusammenfassung

In einem Rückblick auf die etwa 30-jährige Entwicklung des heute in Deutschland etablierten Standards des Deponiebaus werden die Aspekte Basisabdichtung, Basisentwässerung, Abfallkörper und Oberflächenabdichtung betrachtet.

Die heutigen Anforderungen an Art und Qualität der kombinierten Basisabdichtung einschließlich geologischer Barriere stellen nach Einschätzung des Autors im Vergleich zu international ausgeführten Techniken den bestmöglichen Schutz vor einer schädlichen Ausbreitung von Deponiesickerwasser im geologischen Untergrund dar. Auch wenn die Verträglichkeit der thermischen Einwirkung auf das polymere und das mineralische Dichtungselement noch nicht durch in situ Belege verifiziert ist, lassen die bisherigen Erfahrungen eine hinreichend lange Funktionsdauer erwarten.

Die Sickerwasser-Entwässerungsschicht auf der Deponiebasis ist in der Systembetrachtung eine kritische Komponente, da bei einer Schädigung oder gar einem Ausfall dieses Elementes quasi keine Reparaturmöglichkeit besteht. Daher gilt der Grundsätze einer möglichst robusten Bauweise bezüglich der Schichtdicke und der Körnung, sowie die Verpflichtung der Beobachtung.

Der Abfallkörper selbst, einmal aufgesetzt und konsolidiert, ist mit Blick auf die Standsicherheit unproblematisch. Standsicherheitsdefizite können sich in der Betriebsphase bei übersteilten temporären Böschungen, ungünstigen internen Gleitschichten oder bei einem internen Wasseranstau ergeben. Derartige Probleme mit der Anfangsstandsicherheit können besonders bei einem Konsolidierungsverzug bei rasch aufgesetzten MBA Abfallkörpern auftreten. Eine abfallmechanische Beschreibung, welche die mechanischen und die hydraulischen Effekte berücksichtigt, zählt zu den bestehenden Herausforderungen. Hiermit ließen sich auch bessere räumliche und zeitliche Prognosen der Verformungen der Deponieoberfläche erstellen, die als Einwirkung auf das Oberflächenabdichtungssystem berücksichtigt werden sollten.

Der Autor sieht die behördlich geforderte extreme Funktionsdauer von $\gg 100$ Jahren für die heute üblichen Mehrkomponenten-Abdichtungssysteme für Deponieoberflächen als unerfüllbar an. Generell besteht ein Konflikt der Anforderungen an die Rekultivierungsschicht/Bewuchs und die Entwässerung des infiltrierten Niederschlagswassers, der sich bisher nicht auflösen lässt. Die Systemkomponenten haben unterschiedliche Widerstände hinsichtlich der Verformbarkeit und somit der Beanspruchbarkeit. Als zuverlässigste Abdichtungskomponente wird derzeit die

Kunststoffdichtungsbahn angesehen. Die Forderung der DEP V 2009 nach zwei unabhängigen Abdichtungskomponenten (DK II, DK III) macht nur dann Sinn, wenn diese in der Systembeurteilung parallel wirken, wenn das erste eine Schwächung des zweiten im Funktionszeitraum kompensieren kann. Dies ist nicht bei allen Systemen der derzeitigen Deponiebaupraxis der Fall. Eine der verbleibenden Herausforderungen ist die Entwicklung von Methoden zum quantitativen Vergleich und zur Bewertung der Systeme, zur Prognose von mechanischen sowie hydraulischen Einwirkungen auf die Dichtungselemente. Hierzu zählt auch eine Beurteilung der Gleitsicherheit des Schichtsystems in der außergewöhnlichen Bemessungssituation der Alterung und Leckage des oberen Abdichtungselementes. Dringt infolge nachlassender Dichtwirkung Wasser in die Schichtfläche zwischen dem ersten und zweiten Abdichtungselement ohne die Möglichkeit einer Drainage ein, entsteht in der Böschung lokal oder flächig ein Porenwasserüberdruck, der die Gleitsicherheit des Systems massiv abmindert. Dies betrifft insbesondere die beliebte Kombination KDB auf einer Geosynthetischen-Ton-Dichtungsbahn (Bentonitmatte).

Der Deponiebau ist heute durch ein umfangreiches und relativ starres Vorschriftenwerk gekennzeichnet, in dem Bauweisen, Materialanforderungen und Qualitätssicherung formuliert und festgeschrieben sind. Der Betreiber, Fachplaner, Überwacher wie auch die genehmigende Seite müssen geotechnischen Sachverstand mitbringen, der über das Verstehen von Vorschriften hinaus reicht. Um die Leistungsfähigkeit und die Interaktion der Abdichtungs-, Entwässerungs- und Schutzkomponenten untereinander und mit dem Abfallkörper, um das Verhalten der Rekultivierungsschicht mit seinem komplexen Wasserhaushalt zu verstehen, bedarf es solider Kenntnisse der fundamentalen Bodenmechanik, des Verhaltens ungesättigter bindiger Böden, der Geohydraulik, der Geokunststoffe, aber auch der Grundlagen der Bodenkunde.

Literatur

- AUGUST, H., HOLZLÖHNER, U., MEGGYES, T. (Hrsg.), 1998: *Optimierung von Deponieabdichtungssystemen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- BENSON, C. H., 2007: *Modelling Unsaturated Flow and Atmospheric Interactions*. SCHANZ, T. (Ed.): *Theoretical and Numerical Unsaturated Soil Mechanics*. Springer Proc. in Physics, Vol. 113, pp185 - 200
- BENSON, C. H., SAWANGSURIYA, A., TRZEBIATOWSKI, B., ALBRIGHT, W. H., 2007: *Postconstruction Changes in the Hydraulic Properties of Water Balance Cover Soils*. ASCE J. Geotech. Geoenviron. Eng. Vol. 133, No 4, 2007, pp. 349 - 359
- BRÄCKER, W. 2013: *Arbeitsergebnisse der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“*. 9. Leipziger Deponiefachtagung, 2013, S. 19-28
- BRÄCKER, W. 2014: *Umgang der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ mit Hinweisen aus der Anwendung der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard*. 30. Fachtagung „Die sichere Deponie“, SKZ ConSem GmbH, Würzburg, Vortrag B
- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: *Verordnung über Deponien und Langzeitlager* vom 27. April 2009, BGBl I, S. 900 zuletzt geändert am 2. Mai 2013 (BGBl. I S.973)
- DRESCHER, J., 1997: *Deponiebau*. Verlag Ernst & Sohn
- Empfehlungen des Arbeitskreises „*Geotechnik der Deponien und Altlasten*“: GDA, 1. Auflage, 1990. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Verlag Ernst & Sohn,
- Empfehlungen des Arbeitskreises „*Geotechnik der Deponien und Altlasten*“: GDA, 3. Auflage, 1997. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Verlag Ernst & Sohn. Später aktualisierte Empfehlungen sind verfügbar unter: <http://www.gdaonline.de>

- GARTUNG, E., 1994: *Sicherheit und Zuverlässigkeit von PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen*. Veröff. des Grundbauinst. der Landesgewerbeanstalt Bayern, Band 69
- HENKEN-MELLIES, W.-U., AXMANN, M., 2012: *Untersuchung einer mineralischen Basisabdichtung nach 30-jährigem Deponiebetrieb*. Müll und Abfall, Jg. 44 (8) 2012, S. 406-411
- KISHAIJA, P., 2013: *Investigation of chloride flow through a 100cm thick compacted clay liner*. Studentische Arbeit (Special Project), Bauhaus-Universität Weimar, unveröffentlicht
- LANGE, S. (Hrsg.), 1984: *Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken*. BMFT – Risiko- und Sicherheitsforschung, Tagungsband im Auftrag des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung herausgegeben, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo
- LANUV-Arbeitsblatt 13, 2012: *Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme; Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung*. 2.aktualisierte Auflage www.lanuv.nrw.de
- VON MAUBEUGE, K. V., BADU-TWENEBOAH, K., MIJARES, R., GIROUD, J. P., 2014: *Deponiebau in Nordamerika – Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft*. 30. Fachtagung "Die sichere Deponie", Würzburg 2014, Vortrag L
- MELCHIOR, S., 2014: *Deponieoberflächenabdichtungen in Deutschland – von den Anfängen bis zur Deponieverordnung*. 30. Fachtagung "Die sichere Deponie", SKZ ConSem GmbH, Würzburg, Vortrag E
- MELCHIOR, S., STEINERT, B., RAABE, S., 2010: *Ergebnisse zur Wirksamkeit ausgewählter Oberflächenabdichtungssysteme der Versuchsfelder der MEAB auf der Deponie Deetz*. In: HENKEN-MELLIES (Hrsg.): 21. Nürnberger Deponieseminar „Deponien nach 2009: Weiterbetrieb sowie Abdichtung und Nachsorge; Umgang mit Altablagerungen“ Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Nürnberg, Heft 89, S. 103-116
- MÜLLER, W., 2001: *Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik*. Birkhäuser Verlag, Basel
- RAMKE, H.-G., WITT, K. J., BRÄCKER, W., TIEDT, M. (Hrsg.), 2007: *Anforderungen an die Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme*. Tagungsband zum Status-Workshop Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme. Höxteraner Berichte angew. Umweltwissenschaften, Band 6, 2007
- ROWE, R. K., 1998: *From the past to the future of landfill engineering through case histories*. Proc. 4th Int. Conf. On case histories in Geotech. Eng., St. Louis, Missouri, 1998, paper No. SOA-9 pp145-166
- ROWE, R. K., 2009: *Long-term performance of Containment Barrier Systems*. 45th Rankine Lecture, Geotechnique, Vol. 55, No. 9: 631-678
- STIEF, K., 1986: *Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien*. Müll und Abfall, Jg.18 (1) 1986, S. 15-20
- STIEF, K., ENGELMANN, B., 1992: *Die Bedeutung der Stabilität einer Deponie in der TA Abfall*. In Rodatz (Hrsg.): Standsicherheiten im Deponiebau. Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig, Heft 37, S. 1-9
- STOCK, U., 2013: *Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungen*. IN KLAPPRICH ET AL.: Tagungsband 6. Symposium Umweltgeotechnik & 7. Freiburger Geotechnik-Kolloquium "Ressourcen & Geotechnik", CiF publication 10, 2013 S. 75-84
- TA ABFALL, 1991: *Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen*. 12. März 1991 (GMBI. I S. 139, ber. GMBI S. 469)

- TA SIEDLUNGSABFALL ,1993: *Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz.* BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993
- THOMAS, H. R., HE, Y., 1995: *Analysis of coupled heat, moisture and air transfer in a deformable unsaturated soil.* Geotechnique 45, pp 677-689
- WITT, K. J., 2014: *30 Jahre Erfahrung mit der Beurteilung der 100-jährigen Standsicherheit von Deponieböschungen.* 30. Fachtagung „Die sichere Deponie“, SKZ ConSem GmbH, Würzburg, Vortrag N
- WITT, K. J., 2008: *Landfill Capping Systems – Established Solutions, Conditions of Serviceability and Principles of Design.* Proc. 1st Middle European Conference on Landfill Technology, Budapest Hungary, Feb. 2008
- WITT, K. J., 2009: *Die Standsicherheit im Lebenszyklus von Oberflächenabdichtungssystemen.* 25. Fachtagung „Die sichere Deponie“, SKZ ConSem GmbH, Würzburg, Vortrag B

Autor

*Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt
Fakultät Bauingenieurwesen, Professur Grundbau,
Bauhaus-Universität Weimar
Coudraystr. 11C, D-99423 Weimar*

*Tel.: 03643-584560
E-Mail: kj.witt@uni-weimar.de*

Zitat

WITT, K. J.: *Rück- und Vorblick auf geotechnische Herausforderungen des Deponiebaus.* 25. Nürnberger Deponieseminar 2014. Veröffentlichungen des TR-LGA-Grundbauinstitutes, Nürnberg, Heft 93, S. 25-35