

Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten

1. Einleitung

Hohe Bevölkerungsdichten und hoher Industrialisierungsgrad mit die Lebensqualität beeinträchtigenden Auswirkungen auf die Umwelt führten z. B. in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Deutschland vergleichsweise frühzeitig vor ca. 30 Jahren zur geordneten Müllentsorgung auf an der Basis und der Oberfläche abzudichtenden Deponien. Zuvor wurde der Müll zwar auch schon gesammelt, aber überwiegend in alten Sand- und Kiesgruben, Steinbrüchen oder auf Böden geringer Durchlässigkeit – häufig im Nahbereich der Wohnbebauung ohne Basisabdichtung ungeordnet abgelagert.

Auf modernen Deponien soll eine Kombination von Dichtungssystemen und Schadstoffbarrieren die Umweltbelastungen, die von einer Deponie während des Betriebes und nach der Stilllegung ausgehen können, auf Dauer auf ein vertretbares Maß begrenzen. Oberflächenabdichtungssysteme sollen die unkontrollierte Freisetzung von Deponiegas (überwiegend Methangas CH_4) und Schadstoffen sowie die Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper dauerhaft verhindern. Der aktiven Entgasung einer Haumülldeponie kommt unter aktuellen Klimaschutzziele besondere Bedeutung zu, da nur durch die Verbrennung des gesammelten Methangases in Verbrennungskraftmaschinen oder durch einfaches Abfackeln ein bedeutender Klimaschutzbeitrag geleistet werden kann, da Methangas etwa 20-mal klimaschädlicher wirkt als Kohlendioxid CO_2 .

Aktuell sind viele Gesellschaften / Staaten unserer Erde gezwungen, den durch Bevölkerungsexplosion und Industrialisierung rapide gestiegenen Umweltbelastungen Rechnung zu tragen und vergleichbare Entsorgungspfade für Industrie- und Hausmüll oder Inertabfälle zu definieren. Mit einem zeitlichen Abstand von ca. 25 bis 30 Jahren durchlaufen die boomenden Schwellenländer Asiens oder Südamerikas, aber auch die Staaten der ehemaligen Sowjetunion vergleichbare Umweltprobleme, ohne dass die aktuellen Erfahrungspotenziale der letzten 30 Jahre z. B. der Vereinigten Staaten von Amerika oder Deutschland genutzt oder berücksichtigt wurden.



Abb. 1: Großdeponie im Siedlungsbereich einer asiatischen Großstadt im Jahre 2006

Abb. 1 zeigt z. B. eine Großdeponie im Siedlungsbereich einer asiatischen Großstadt im Jahre 2006 als aktuelles Beispiel ohne Basisabdichtung und mit massiv schädigenden Einflüssen auf Grundwasser und Atmosphäre. Offensichtlich sind massive Schädigungen und Verschmutzungen von Luft, Boden und Wasser infolge des Bevölkerungswachstums und der fortschreitenden Industrialisierung zwingende Voraussetzung für die Entwicklung und Umsetzung flankierender Umweltschutzmaßnahmen mit entsprechendem hohen wirtschaftlichen Aufwand. In diesen Gesellschaften muss aktuell z. B. noch die Mentalität und allgemeine Akzeptanz für aktive Müllsammlung und sichere Deponierung entwickelt werden. Auch wenn inzwischen z. B. in der Europäischen Union das aktuelle Umweltziel der Abfallvermeidung und Abfallverwertung in möglichst geschlossenen Stoffströmen verfolgt wird und die Deponie zur Abfallablagerung zum Auslaufmodell werden soll, darf die Entwicklungspolitik nicht außer Acht lassen, dass offensichtlich alle Entwicklungsstufen von der wilden Müllkippe bis zu geschlossenen Stoffströmen im erforderlichen Zeitrahmen gesellschaftlich durchlaufen werden müssen. Damit hat für viele dieser Schwellenländer die Unterstützung bei der Mülllogistik und geordneten sicheren Deponierung oberste Priorität als erster Schritt zu anspruchsvolleren, aber auch teureren umweltpolitischen Zielen. In dieser Phase gilt es, die Entwicklung in der Müllentsorgung und Deponietechnik zu begleiten und Erfahrungen der letzten Jahrzehnte z. B. aus den USA und Deutschland zur Verfügung zu stellen. Auch inzwischen erkannte Gefährdungspotenziale für eine langfristige Wirksamkeit von Deponiedichtungssystemen müssen transparent gemacht werden, um besonders die Anwendung ökonomisch und ökologisch überlegener Lösungen zu fördern und die Wiederholung von Negativerfahrungen

auszuschließen. Dies trifft besonders, wie weiter ausgeführt wird, auf die kritiklose Anwendung der klassischen Tondichtung als Dichtungselement in Oberflächenabdichtungssystemen zu.

2. Oberflächenabdichtungen im weltweiten Vergleich

2.1 Oberflächenabdichtungen in aktuellen staatlichen Regelwerken/Verordnungen

Vor ca. 25 Jahren sind in den USA und in der Bundesrepublik Deutschland erste staatliche Regelwerke, Verordnungen und Richtlinien für eine geordnete Abfallentsorgung in Deponien mit der Forderung nach Dichtungssystemen an der Deponiebasis und –oberfläche entstanden und verbindlich eingeführt worden. Kernelemente der Dichtungssysteme waren die mineralischen Komponenten Ton als klassische Dichtungsschicht und Kies bzw. Sand als Sickerwasser- und Gasdränschichten. Als das Geosynthetic Research Institute (GRI) 1999 die erste weltweite Erhebung über Basis- und Oberflächendichtungen von Deponien durchführte [13], hatten bereits 37 Staaten oder Bundesländer Vorschriften für Dichtungssysteme von Deponiebauwerken aufzuweisen. Die Anforderungen wurden häufig unterschieden für Sondermülldeponien, Hausmülldeponien und Bauschuttdeponien. Alle Regelwerke und Vorschriften orientierten sich grundsätzlich an den "Kopiervorlagen" der pioniermäßig tätigen Vorreiter und konzentrierten sich auf mineralische Lösungen für Dichtungssysteme mit Ton-, Kies- oder Sandschichten für die geschilderten Aufgaben, ggf. mit Variationen der Durchlässigkeitsanforderungen oder der Schichtmächtigkeiten.

Nahezu 10 Jahre später, im Jahre 2007, bei der zweiten weltweiten Erhebung über Basis- und Oberflächendichtungssysteme [16], ist die Zahl der Länder, über die in der Studie berichtet werden kann, um ca. 40% auf 52 Länder mit Deponierichtlinien angewachsen [USA nur einmal mit EPA-Mindestanforderung berücksichtigt (EPA - Environmental Protection Agency)] und als Elemente der Dichtungssysteme stehen uneingeschränkt drei Komponenten im Vordergrund:

- die klassische Tondichtung
- die Kunststoffdichtungsbahn
- die Sanddränschicht.

Die Saat der ersten Richtlinien hat sich weiter verbreitet. Besonders an der Deponiebasis von Sondermüll- und Hausmülldeponien, aber auch an der Deponieoberfläche insbesondere von Sondermülldeponien werden Kombinationsdichtungen aus klassischer Tondichtung und Kunststoffdichtungsbahn (HDPE) gefordert. Für Hausmülldeponien werden in 23 % der Fälle keine Vorgaben für das Dichtungselement an der Deponieoberfläche gemacht, in 65 % der Fälle wird eine klassische Tondichtung für ausreichend gehalten und nur in 8 % der Fälle eine Kombinationsdichtung aus klassischer Tondichtung und HDPE-Kunststoffdichtungsbahn gefordert. Damit soll in 73 % der Fälle an der Deponieoberfläche eine klassische Tondichtung eingebaut werden, d.h. 3 von 4 Deponien sollen eine klassische Tondichtung erhalten. Auch in den hier separat betrachteten Bundesstaaten der USA, die mindestens die EPA-Anforderungen an Dichtungssysteme erfüllen müssen, ist aktuell festzustellen, dass sich alle mehr oder weniger ausschließlich auf die langfristige Wirksamkeit einer klassischen Ton- oder Feinkorndichtungsschicht in der endgültigen Oberflächendichtung von Hausmülldeponien verlassen. Aus Überzeugung der Autoren und vieler Fachkollegen ist das eine überraschende und vor dem Hintergrund der weiteren Ausführungen besorgniserregende Situation, die eine weltweite, durchgreifende Korrektur erfordert.

2.2 Oberflächenabdichtungen in der praktischen Ausführung

Durch die nahezu kritiklose Übernahme von mineralischen Lösungen von einer Ländervorschrift zur anderen werden, wie auch in den übergeordneten Vorgaben der US-EPA, alternative Systemkomponenten oder Dichtungssysteme gar nicht erwähnt oder aber pauschal berücksichtigt, indem "gleichwertige" Systeme oder Systemkomponenten angewendet werden dürfen. Anders ist das in den Deponievorschriften der einzelnen US-Bundesstaaten, die auf den übergeordneten Vorgaben der US-EPA basieren, aber neben der Kunststoffdichtungsbahn sowohl geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) als auch Drängitter oder andere geosynthetische Dränstrukturen ausdrücklich im Systemaufbau der Dichtungssysteme an der Basis und Oberfläche von Deponien vorsehen. Diese vom Rest der Welt abgekoppelte Situation in den US-Bundesstaaten findet ihre Berechtigung in den dokumentierten ökonomischen, ökologischen und funktionellen Vorteilen. So ist z. B. über Sickerwasserkontrollsysteme in den USA eindeutig dokumentiert, dass eine Kombinationsdichtung aus Kunststoffdichtungsbahn und geosynthetischer Tondichtungsbahn im Vergleich zu anderen Systemaufbauten unter sonst gleichen Bedingungen die mit Abstand geringsten Sickerwassermengen an der Deponiebasis aufweist. Über diese Situation in den USA hinaus werden in der internationalen Praxis des Deponiebaus in großem Umfang "gleichwertige" Lösungen zur behördlich vorgegebenen Regellösung geplant und ausgeführt. Neben der über Kombinati-

onsdichtungen standardmäßig eingesetzten Kunststoffdichtungsbahn (nahezu ausschließlich HDPE, aktuell ca. 150 Mio. m²/Jahr) kommen zurzeit jährlich etwa 40 Mio. m² geosynthetische Tondichtungsbahnen und ca. 75 Mio. m² Kunststoffdränsysteme weltweit bei Deponieabdichtungssystemen zum Einsatz. Damit unterscheidet sich die Ausführungspraxis deutlich von den behördlichen Vorgaben, und Geokunststoffe prägen ganz deutlich die praktische Bauausführung von Dichtungssystemen von inzwischen Hunderten von Deponien rund um den Erdball.

Werden von den behördlich vorgesehenen Regelsystemen und ihren mineralischen Komponenten dauerhafte Wirksamkeiten ohne weitere Nachweise einfach unterstellt und erwartet, so werden von "gleichwertigen" Geokunststoffsystemkomponenten üblicherweise umfangreiche Prüfungen und Nachweise zur dauerhaften Wirksamkeit verlangt - eine aus heutiger Sicht völlig unhaltbare Ungleichbehandlung alternativer Dichtungssysteme. Nach über 30 Jahren unberechtigtem Vertrauensvorschuss in die dauerhafte Wirksamkeit der klassischen Tondichtung fehlt immer noch ein entsprechendes Nachweiskonzept, wie es für Geokunststoffe schon lange praktiziert wird.

3. Anmerkungen zur Langzeitwirksamkeit der klassischen Tondichtung in Oberflächenabdichtungssystemen

3.1 Allgemeines

Klassische, erdbautechnisch hergestellte Tondichtungen (Compacted Clay Liners, CCLs) werden von alters her als hydraulische Barrieren oder Abdichtungen in Kanälen, Dämmen, Speicherbecken und anderen Strukturen mit direktem Bezug oder Nachbarschaft zum Wasser eingesetzt. Umfangreiche geotechnische und geologische Literatur steht zur klassischen Tondichtung zur Verfügung. So ist es nur natürlich, dass die Abdichtung einer Deponie unter dem Müllkörper, der Sickerwasser enthält, den Einsatz von CCLs als Abdichtungsmaterial berücksichtigen sollte. Nach Meinung der Autoren ist dies für Deponieabdichtungen völlig gerechtfertigt, wenn ein feinkörniger Boden wirtschaftlich verfügbar ist und die Tonschicht ihren Wassergehalt ohne Probleme langfristig stabil halten kann und auf festem, setzungsarmen oder setzungsfreien Untergrund eingebaut wurde. Der Einsatz einer klassischen Tondichtung oberhalb eines Müllkörpers (d.h. in der Abdeckung oder Oberflächenabdichtung der Deponie) ist jedoch eine große Herausforderung im Hinblick auf die für die langfristige

Dichtwirkung kritischen Parameter Wassergehalt der Tondichtung und ungleichmäßige Setzungen und Sackungen des Müllkörpers.

Im Folgenden sollen daher vor dem Hintergrund aktueller Erfahrungen aus Deutschland und den Vereinigten Staaten von Amerika die Fragestellungen behandelt werden, ob eine klassische Tondichtung über die Gebrauchsdauer einer Deponieoberflächendichtung die ihr zugewiesene Funktion langfristig überhaupt erfüllen kann.

3.2 Erhöhte Durchlässigkeit durch Austrocknung

3.2.1 Erfahrungen aus Deutschland

Durch Untersuchungen mit Lysimetern, Testfeldern und Aufgrabungen von Dichtungssystemen wurde vielfach über die Gefährdung bzw. den Verlust der Dichtwirkung einer erdbautechnisch hergestellten mineralischen Dichtung berichtet [6, 7, 8, 9], die das ursprüngliche Konzept der Regeldichtung, ausgeführt als Kombinationsdichtung, in Frage stellen. Das Regelsystem basierte auf der Annahme, dass die KDB als Konvektionssperre durch eine zeitlich begrenzte Langzeitwirksamkeit gekennzeichnet ist und anschließend die 50 cm dicke Tondichtung die dauerhafte Dichtwirkung übernimmt. Dieser technische Lösungsansatz ist zu verwerfen, seitdem bekannt ist, dass die Tondichtung innerhalb weniger Jahre durch Austrocknung ihre Dichtwirkung verlieren kann und damit nur eine unwesentlich längere Langzeitwirksamkeit aufweisen kann als die sie bis dahin schützende Kunststoffdichtungsbahn.

Ein Abdichtungssystem, in dem die Kunststoffdichtungsbahn erforderlich ist, um das andere Dichtungselement zu schützen (z. B. als Wurzelsperre und Austrocknungssicherung für die tonmineralische Dichtungsschicht), kann nicht als Kombinationsdichtung bezeichnet werden, da in diesem Fall die beiden Dichtungskomponenten nicht unabhängig voneinander sowie einander in der Dichtwirkung ergänzend wirken [11].

Da das Regelsystem bisher eine "gesetzlich gesetzte Größe" war, liegen zur Langzeitwirksamkeit von Kombinationsdichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen keine gezielten Untersuchungen oder Nachweiskonzepte vor. Beim heutigen Informationsstand ist es daher schlüssig und notwendigerweise konsequent, auf eine Regeldichtung gemäß bisheriger Verwaltungsvorschriften in einer neuen integrierten Deponieverordnung, an der zurzeit in Deutschland gearbeitet wird, zu verzichten. Als zukünftiges Nachweiskonzept bleibt nur, wie

z. B. auf den Deponien Georgswerder oder Sigmundskron/Bozen [4] demonstriert, die begleitende, langjährige Testfeld/Lysimeter-Untersuchung von mineralischen Komponenten einer Kombinationsdichtung ohne die schützende Wirkung einer aufliegenden Kunststoffdichtungsbahn, um so über langjährige Beobachtungen Basisdaten für eine belastbare Aussage zur Langzeitwirksamkeit der mineralischen Dichtungskomponente zu erarbeiten. In Testfeldern der Deponie Sigmundskron/Bozen mit mittelplastischem Ton wurden sowohl mit als auch ohne schützende Kunststoffdichtungsbahn – allerdings bei vergleichsweise hohen Temperaturen des Abfallkörpers der Monodeponie – nach 5-jähriger Beobachtungszeit Austrocknungsschäden mit Rissbildung in der mittelplastischen Tonschicht, die ohne Kunststoffdichtungsbahn in den halbfesten Zustand mit durchgängigen bis 4,5 mm breiten Schrumpfrissen übergegangen war, festgestellt [4]. Parallel über 7 Jahre beobachtete gemischtkörnige mineralische Dichtungen zeigten keine vergleichbaren Beeinträchtigungen. Extrapolationsmöglichkeiten entsprechender Ergebnisse für mineralische Systemkomponenten müssen für Langzeitwirksamkeitsaussagen allerdings noch entwickelt werden.

Die Teilnehmer eines Status-Workshops, veranstaltet vom Arbeitskreis 6.1. "Geotechnik der Deponiebauwerke" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und dem Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik, Fachbereich Technischer Umweltschutz, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, zum Thema "Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme" kommen im Dezember 2006 zu folgenden Schlussfolgerungen [21]:

Das Regelabdichtungssystem für Deponien der Klasse I in Deutschland (Bauschuttdeponie) ist ein Oberflächenabdichtungssystem nur mit einer klassischen, erdbautechnisch hergestellten tonmineralischen Abdichtungskomponente. Die wissenschaftlichen Untersuchungen und Erfahrungen der letzten Dekade haben gezeigt, dass die Wirksamkeit dieser tonmineralischen Abdichtungsschichten durch folgende Einflüsse gefährdet sein kann:

- Kapillarer Wasseraufstieg, konvektiver Wasserdampftransport und Durchwurzelung können zur Austrocknung der mineralischen Abdichtung führen mit der potenziellen Ausbildung irreversibler Trockenrisse, die die Abdichtung auf Dauer unwirksam werden lassen.

Aktuell ist festzuhalten, dass bisher keine Bemessungsregeln für Oberflächenabdichtungssysteme bestehen, die die Entstehung von Trockenrisse in einer tonmineralischen Abdichtung nachweislich ausschließen oder wie ein entsprechender Systemaufbau der Dichtungs-

systeme konzipiert werden müsste, damit keine unverträglichen Wassergehaltsschwankungen auftreten.

Nach dem den deutschen Deponievorschriften zugrunde liegenden Ursprungs-konzept für die Kombinationsdichtung hat die mineralische Abdichtungskomponente zunächst die Funktion, im Verbund bei etwaigen kleinen Leckagen der Kunststoffdichtungsbahn den Wasserdurchtritt zu begrenzen. Auf lange Sicht (Zeitraum \gg 100 Jahre), wenn die Kunststoffdichtungsbahn unwirksam geworden sein könnte, soll die mineralische Abdichtungskomponente **die** dauerhafte Abdichtungsfunktion erfüllen. Mit dem Versagen der Kunststoffdichtungsbahn entfällt aber auch die Funktion als Wurzelsperre, und die mineralische Komponente ist dann womöglich den gleichen Einwirkungen ausgesetzt wie eine einzelne mineralische Abdichtungsschicht im Regelsystem für die Deponieklasse I [11].

Die mineralische Abdichtungskomponente unterliegt dadurch, dass sie während der Funktionsfähigkeit der KDB vor Wasserzutritt abgeschirmt wird, außerdem dem Risiko des Wasserentzugs infolge temperaturinduzierten Wassertransports. Bei einem überwiegend abwärts gerichteten Temperaturgradienten (wenn die Abdichtungskomponente an der Deponieoberfläche wärmer ist als der Deponiekörper) können mittel- bis langfristig Trockenrisse entstehen.

Henken-Mellies [11] kommt zu dem Schluss, dass die Kombinationsabdichtung in der bisherigen Form, wie sie als Regelabdichtungssystem in Deutschland vorgegeben wird, nicht geeignet ist, langfristig, d.h. nennenswert über die Funktionsdauer der Kunststoffdichtungsbahn hinaus, das Einsickern von Wasser in den Deponiekörper zu verhindern, weil die mineralische Komponente in Form einer tonmineralischen Abdichtungsschicht mit hohem Feinkornanteil schrumpfrissanfällig und austrocknungsgefährdet ist.

Dieser kritischen Bewertung des "Regelabdichtungssystems" für Deponien der Deponieklasse II und III (Hausmüll- und Sondermülldeponien) schlossen sich die Teilnehmer des Status-Workshops durchgängig an.

Damit wird die Kunststoffdichtungsbahn zum bestimmenden Element für die langfristige Wirksamkeit von Kombinationsdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahn und klassischer Tondichtung und macht die klassische Tondichtung überflüssig.

3.2.2 Erfahrungen aus den USA

Auch aus den USA werden Versagensszenarien der klassischen Tondichtung infolge Wassergehaltsänderung berichtet. Es wird festgestellt, dass auch in kühlen/feuchten Klimaregionen in den Sommermonaten eine kritische Austrocknung klassischer Tondichtungsschichten (Compacted Clay Liner, CCL) eintreten kann und auch Frosteinwirkung entsprechend schädigend wirken kann.

In den letzten 15-20 Jahren hat es verschiedene Studien zur Erforschung der Leistungsfähigkeit von CCLs in Deponieoberflächenabdichtungen gegeben. Für diese Studien gab es verschieden große Lysimeter unter den CCLs zur Sammlung und Messung des durch die CCL hindurchtretenden Sickerwassers. Zu beachten ist, dass der allgemein geregelte maximale Durchlässigkeitsbeiwert der CCL $k \leq 1 \times 10^{-7}$ cm/s ist, und die entsprechende Umrechnung auf 32 mm/Jahr Durchsickerung wichtig ist für den Einsatz und die Bewertung von Feldlysimetern. Albright et al. [1] geben einen guten Überblick über ausgeführte Untersuchungen bei drei klimatischen Umgebungsmilieus der Vereinigten Staaten: kalt-feucht, warm-feucht und halbtrocken (semiarid). Es wird berichtet, dass die CCL nur an den beiden halbtrockenen Standorten in akzeptabler Weise mit einer Durchsickerung von weniger als 32 mm/Jahr funktioniert. Dies kann aber auf die anfänglich geringen Niederschlagsmengen von nur 140 bis 300 mm an den semiariden Standorten zurückzuführen sein. In allen anderen Gebieten ist die Durchsickerung durch die Tondichtung (CCL) zum Teil deutlich größer als 32 mm/Jahr. In einigen Fällen wurde der tatsächliche Durchlässigkeitsbeiwert nach Probenahme im Labor bestimmt, mit dem Ergebnis, dass er um bis zu 4 Zehnerpotenzen angestiegen ist. Eine separate Studie vom Maine Department of Environmental Protection kam zu ähnlichen Werten mit einer Insitu-Testmethode zur Messung der tatsächlichen Durchlässigkeit der CCL im Feld.

In der gleichen Studie bewerteten Albright et al. [1] die Leistungsfähigkeit von drei CCLs in Deponieoberflächenabdichtungen. Diese Studie konzentrierte sich ganz auf Veränderungen des Durchlässigkeitsbeiwertes, der an Proben, die 4 Jahre lang eingebaut waren, mittels Durchlässigkeitstests im Labor gemessen wurde. Die Durchlässigkeitsbeiwerte waren ebenfalls deutlich erhöht mit Werten von $k = 3,6 \times 10^{-5}$ cm/s, $1,3 \times 10^{-5}$ cm/s und $3,9 \times 10^{-6}$ cm/s bei einem Anforderungswert von $k < 1,0 \times 10^{-7}$ cm/s.

Als jüngstes Beispiel berichten Albright et al. [2] über eine Tondichtung (CCL) in einer endgültigen Oberflächenabdichtung in Süd-Georgia. Nach einer 4-jährigen Gebrauchsdauer war der Durchlässigkeitsbeiwert von ca. 1×10^{-7} auf 1×10^{-4} cm/s angestiegen.

Damit wird auch aus den Vereinigten Staaten von Amerika über eine Vielzahl von Beispielen berichtet, in denen eine zunächst anforderungsgerecht eingebaute Tondichtungsschicht ($k < 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$) nach wenigen Jahren im Betrieb erheblich erhöhte Wasserdurchlässigkeiten als Folge von Austrocknungsvorgängen mit begleitender Rissbildung aufweist und die gemessenen Durchlässigkeitsbeiwerte 10^{-4} bis 10^{-5} cm/s (10^{-6} bis 10^{-7} m/s) erreichen.

Es steht damit unabhängig von einzelnen Unterschieden im Gesamtaufbau der Dichtungssysteme fest, dass Oberflächenabdichtungssysteme mit klassischer, erdbautechnisch hergestellter Tondichtung und überlagernden Drän- und Rekultivierungsschichten bis 1,50 m Mächtigkeit nicht ausreichen, erhebliche Erhöhungen der Durchlässigkeit der Tondichtung auf k -Werte von $10^{-4}/10^{-5} \text{ cm/s}$ oder $10^{-6}/10^{-7} \text{ m/s}$ zu verhindern.

Eine Kunststoffdichtungsbahn, als zweites Dichtungselement und Bestandteil einer Kombinationsdichtung integriert, kann diese Entwicklung vor allem durch aktiven Durchwurzelungsschutz langfristig verzögern. Aber die langfristige Wirksamkeit der Kombinationsdichtung wird nur durch die Kunststoffdichtungsbahn sichergestellt. Damit ist eine klassische Tondichtung in den aktuell konzipierten und hier beschriebenen Oberflächendichtungssystemen von Deponien überflüssig, da sie zur dauerhaften Wirksamkeit keinen Beitrag leisten kann, der nicht ohnehin schon durch die Kunststoffdichtungsbahn erreicht wird. Der Auswahl und dem Einbau der Kunststoffdichtungsbahn kommt daher für die dauerhafte Wirksamkeit des Dichtungssystems eine entscheidende Bedeutung zu.

Sollten Genehmigungsbehörden und Deponiebetreiber weiterhin klassische Tondichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen anwenden wollen, ist dringend eine Nachweisstrategie zu entwickeln, aus der geeignete Systemaufbauten und Materialauswahl für dauerhaft wirksame, erdbautechnisch hergestellte Tondichtungen abgeleitet werden können. Die ausführungsp parallele Anordnung von Lysimeterfeldern als obligatorischer Bestandteil von Oberflächendichtungen mit klassischer Tondichtungskomponente, die mindestens 10 Jahre betrieben werden müssten, könnten die Datenbasis zur Austrocknungssicherheit oder Austrocknungsgefährdung der Tondichtung schnell verbreitern. Beachtet werden muss allerdings, dass das zweite große Gefährdungspotenzial für die dauerhafte Wirksamkeit der klassischen Tondichtung, Zwangsverformungen durch ungleichmäßige Setzungen und Sackungen des Deponiekörpers, noch gesondert betrachtet werden muss.

4. Gefährdung der Dichtwirksamkeit durch ungleichmäßige Setzungen und Sackungen

4.1 Allgemeines

Erdbautechnisch hergestellte mineralische Dichtungsschichten reagieren äußerst empfindlich auf unterschiedliche Setzungen und Sackungen des Deponiekörpers. Die ausgelösten Zwangsverformungen des Oberflächendichtungssystems können durch Rissbildung ebenfalls, wie bei der Austrocknung, zu erhöhten, nicht mehr tolerierbaren Systemdurchlässigkeiten führen.

Schon während des Deponiebetriebes regelmäßig ausgeführte Setzungsmessungen des Deponiekörpers liefern die Prognosebasis für zu erwartende Restverformungen beim Aufbringen temporärer oder endgültiger Oberflächenabdichtungen. Hieraus können die Beanspruchungsgrößen der vorgesehenen Dichtungselemente abgeleitet werden. Als Kriterium der Verträglichkeit von Zwangsverformungen der Tondichtung wird z. B. in der GDA-Empfehlung E2-13 [5] ein Nachweis vorgeschlagen, der die aus den Verformungen erwartete Randfaserdehnung der mineralischen Dichtungsschicht der Grenzdehnung des verwendeten Dichtungsmaterials im Bruchzustand gegenüberstellt. Witt [22] schlägt vor, die Wasserdurchlässigkeit des Dichtungsmaterials zukünftig direkt an Versuchskörpern mit einer axialen Dehnung von $\varepsilon = 2 \text{ ‰}$ zu ermitteln. Dieser Hinweis bestätigt zum einen die bisher nur mangelhafte Nachweisstrategie zur Prüfung der dauerhaften Dichtwirkung der klassischen Tondichtung als Komponente von Deponieoberflächenabdichtungssystemen, zum anderen gibt er aber auch einen wichtigen Hinweis auf die sehr strenge Begrenzung der Verformbarkeit der Tondichtung mit $\varepsilon = 0,2 \text{ ‰}$ oder 2 ‰ . Dieser Wert muss bei allen Oberflächenabdichtungen von Deponien mit Siedlungsabfällen und dem daraus resultierenden lang anhaltenden großen Setzungspotenzial besondere Beachtung finden.

4.2 Zur Kompatibilität von Deponieverformungen und zulässigen Dehnungen von klassischen Tondichtungen

Obwohl die Setzungen eines Müllkörpers aus Hausmüll mit bis zu 30 % der Ausgangshöhe entscheidend von der Müllzusammensetzung, der Einbautechnik des Mülls, der Schütthöhe, des Wasserhaushalts und des Alters der Ablagerung abhängen, sollen hier einige Beispiele gegeben werden, die die im Hinblick auf die dauerhafte Dichtwirkung kritischen Verfor-

mungsgrenzen der klassischen Tondichtung belegen. Problematisch sind hierbei weniger eine gleichmäßige Gesamtsetzung des Müllkörpers als vielmehr örtlich eng begrenzte unterschiedliche Setzungen und Sackungen.

In den Vereinigten Staaten von Amerika sind kritische, örtlich eng begrenzte, unterschiedliche Setzungen und Sackungen von vielen Deponien belegt und nachgewiesen – u.a. von Deponien in New Jersey, Pennsylvania, Florida oder Ohio. Von der Deponie in New Jersey liegen aktuelle Messungen von unterschiedlichen Setzungen und Sackungen der Oberfläche vor. Die 25 ha große Deponie wurde von 1966 bis 1981 betrieben und mit Hausmüll, Pflanzenabfällen, Gewerbeabfällen und geringen Mengen trockener Klärschlämme befüllt. Vermutlich handelt es sich um die Verfüllung eines alten Steinbruchs mit unbekannter Müllschütthöhe – eine typische Altdeponie ohne Basisabdichtung, wie wir sie überall auf der Welt finden und wie sie zum Teil auch heute leider noch betrieben werden.

Im Jahre 1990 wurde ein Oberflächenabdichtungssystem mit den folgenden Komponenten fertiggestellt:

- 150 mm Vegetationsboden
- 450 mm Deckboden
- 300 mm Sanddränschicht
- 300 mm Tondichtung
- 300 mm Deckboden
- ca. 450 mm Ausgleichsschicht
- Müllkörper

Sieben Jahre nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung und 16 Jahre nach Beendigung des Schüttnbetriebes prägten sieben unterschiedliche Setzungs- und Sackungsbereiche das Oberflächenbild der Deponie. Die Senken und Trichter wurden separat vermessen. Mit den in Koerner [15] angegebenen Näherungsgleichungen wurden die für die Tondichtungsschicht relevanten Verformungen berechnet. Die Verformungsprofile und maximalen Dehnungen der Oberflächendichtung sind in Abb. 2 dargestellt. Die berechneten Verformungen des Dichtungssystems variieren von 1,8 bis 27,4 % und liegen damit um Größenordnungen über den für einzelne Böden, Tone oder aus dem Dammbau aus der Literatur bekannten Bruchdehnungen [17] (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bruchdehnungen einzelner Bodentypen und bindiger Dammbaustoffe nach LaGatta, 1997

Bodentyp oder Herkunft des Bodens	w* (%)	P.I. ** (%)	ϵ_f^{***} (%)
Toniger Boden	19,9	7	0,80
Illit	31,4	34	0,84
Kaolinit	37,6	38	0,16
Unbekannter Damm	16,3	8	0,14
Rector-Creek-Damm	19,8	16	0,10
Woodcrest-Damm	10,2	n/n	0,18
Wheel-Oil-Damm	11,2	n/p	0,07
Willard-Damm	16,4	11	0,20

* Wassergehalt

** Plastizitätszahl

*** Bruchdehnung

Mittelwert 0,31 %

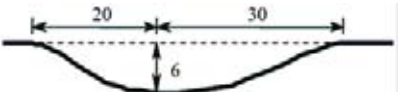

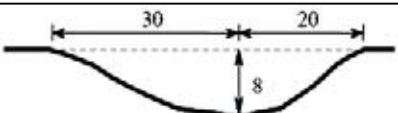
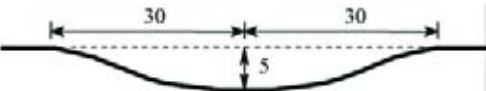
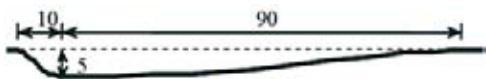
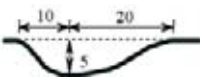
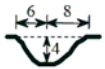
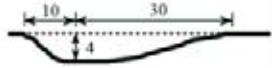
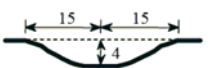

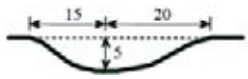

Standort	Beschreibung	Dimensionen (ft)	maximale Dehnung (%)
1	Fahrwegabsenkung		5.8
2	Großer Trichter		24.2
3	100-ft lange Senke		10.3
4	Großflächiger Trichter		1.8
5	350-ft lange Senke		15.9
6	Drei Trichter		15.9
			27.4
			10.3
7	Vier Trichter		4.6
			22.5
			7.3
			20.5

Abb. 2: Konturen von lokalen Setzungen und Sackungen auf einer Deponie in New Jersey und berechnete maximale Dehnungen im Oberflächenabdichtungssystem

Lehners [18] empfiehlt:

- bereits in der Betriebsphase Verformungen zu messen, um Ausgangswerte für die Planung einer Oberflächendichtung zu erhalten,
- Verformungen durch Wahl oder Sortierung des Mülls und des Ablagerungsortes zu steuern,
- ggf. Abfallumlagerungen unter zukünftigen Verformungsgesichtspunkten vorzunehmen,
- Überwachung und Auswertung von Oberflächenverformungen in Linienprofilen, um die Beanspruchung der Oberflächendichtung zu überwachen.

Mit einer entsprechenden Strategie könnten zumindest verformungsbedingte Schädigungen der klassischen Tondichtung in Oberflächenabdichtungssystemen vermieden werden. Die Schädigung durch potenzielle Wassergehaltsänderung/-austrocknung bleibt allerdings uneingeschränkt bestehen.

5. Alternativlösungen mit Geokunststoffen

5.1 Allgemeines

Während in Regelwerken definierte mineralische Komponenten eines Deponiedichtungssystems zum Dichten oder Dränen nach definierten Entwurfskriterien (z. B. Schichtmächtigkeit, Durchlässigkeit, Korngrößen, Calciumgehalt ...) und Einbaukriterien (z. B. Dichte, Wassergehalt ...) qualitativ hochwertig hergestellt werden, wurde und wird ihre Langzeitwirksamkeit und Unveränderlichkeit nach Einbau – häufig mit dem Ansatz, die Kornmaterialien seien ja langzeitbeständig – einfach unterstellt und ohne Nachweis angenommen.

Eine anzunehmende Langzeitbeständigkeit ist aber nicht hinreichend gleichbedeutend mit entsprechender Langzeitwirksamkeit. Eine langzeitwirksame Komponente ist allerdings zwangsläufig für diesen Zeitraum auch langzeitbeständig. Vielfache Wechselbeziehungen und Einwirkungen können eine langzeitbeständige Komponente für die planmäßige Aufgabe im Deponieabdichtungssystem unwirksam machen. Mit verschiedentlich genannten "mineralogischen Analogien" sind ggf. Aussagen zur Langzeitbeständigkeit mineralischer Substanzen (z. B. Quarzkorn) möglich, keinesfalls jedoch Aussagen zur Langzeitwirksamkeit von geotechnischen Strukturen aus entsprechenden Materialien wie Kiese, Sande, Tone oder deren Gemische mit oder ohne Zusatzmittel zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften.

Die Nachweisführung zur Langzeitwirksamkeit der Abdichtungssysteme soll nachfolgend diskutiert werden. Dazu werden als Vergleichsmaßstab für alternative Komponenten Geokunststoffe herangezogen, denn die Erfahrungen der letzten Jahre belegen, dass es keine anderen Systemkomponenten gibt, deren Eignungsfeststellung international vergleichbar intensiv diskutiert, erforscht, überprüft und nachgewiesen worden ist. Wenig Wissen über die Langzeitwirksamkeit mineralischer Schichten führte paradoxerweise zu höherer Akzeptanz als viel Wissen über konkrete Nachweise für Geokunststoffkomponenten.

5.2 Langzeitwirksamkeitsnachweise für Geokunststoffe

5.2.1 Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)

Aufgrund ihrer überlegenen Chemikalienbeständigkeit werden PEHD-Dichtungsbahnen seit ca. 35 Jahren bevorzugt im Deponiebau als Dichtungselement eingesetzt und sind fast ausschließlich Bestandteil der Kombinationsdichtungen in staatlichen Regelwerken. Mit dem bereits Ende 1989 durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, eingeführten Zulassungsverfahren für PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen gibt es bereits eine fast 20 Jahre erprobte Vorgehensweise zur Beurteilung der dauerhaften Funktionsweise von Kunststoffdichtungsbahnen als Deponiedichtungskomponente in Deutschland. In den Vereinigten Staaten von Amerika werden Regelanforderungen in der GRI (Geosynthetic Research Institute) Test Method GM13 – "Prüfmethoden, Prüfeigenschaften und Prüffrequenzen für glatte und raue Dichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD)" – definiert.

Bei der Anwendung nach BAM- oder GRI-Standard zugelassener oder geprüfter Kunststoffdichtungsbahnen in einem Oberflächenabdichtungssystem ist ergänzend zu erwähnen, dass

- die überlagernden Schichten perfekten langfristigen Schutz vor UV-Strahlung bieten,
- die Kunststoffdichtungsbahn in weiten Grenzen aufgezwungenen Verformungen schadlos folgen kann,
- die Kunststoffdichtungsbahn unbeeinflusst bleibt von Frosteinwirkungen sowie von Schwankungen des Wassergehaltes oder der Wasserspannungen in überlagernden Schichten (Rekultivierungsschicht),
- die Kunststoffdichtungsbahn wurzelfest und nagetierbeständig ist,
- die Kunststoffdichtungsbahn dauerhaft gas- und wasserdicht bleibt.

Ergänzend sind für Deponieböschungen die Standsicherheiten nach dem Stand der Technik mit den ermittelten Reibungsbeiwerten zwischen Kunststoffdichtungsbahn und benachbarten Reibungsparametern und mit ausreichenden Sicherheiten für Bau- und Betriebszustände produktspezifisch nachzuweisen.

Die Überprüfung in Oberflächenabdichtungen mit eingebauten BAM-zugelassenen Kunststoffdichtungsbahnen durch elektrische Kontrollsysteme in Deutschland belegt, dass weniger als eine Schadstelle pro 50.000 m² gefunden wird, wobei etwa zu gleichen Teilen der Baubetrieb beim Aufbringen der mineralischen Schichten oder das Kunststoffdichtungsbahn-Schweißen fehlerursächlich sind. Damit sind jeweils mehr als 100.000 m² schweißtechnisch und einbautechnisch (Erdbaubetrieb) einwandfrei und ohne Schadstelle - ein beeindruckender Beleg für die hohe Qualität, die mit einer Dichtung aus PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen erreicht werden kann. Es darf angenommen werden, dass unter diesen dokumentierten Randbedingungen das Abdichtungsziel, die unkontrollierte Freisetzung von Deponiegas und Schadstoffen sowie die Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper zu verhindern, dauerhaft bestmöglich erreicht wird, sodass die BAM-zugelassene oder GM13-geprüfte Kunststoffdichtungsbahn heute als Maßstab – allerdings mit deutlich strengeren Anforderungen in der BAM-Zulassung – für alle anderen Dichtungskomponenten dienen können. Diese Aussage wird durch Untersuchungen und Aussagen in der internationalen Literatur nachhaltig gestützt.

Mit Hinweis auf die umfassende Literatur [20]) zur Untersuchung der Langzeitwirksamkeit von PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen kann auf der Basis vieler Untersuchungen an verschiedenen PEHD-Dichtungsbahnen die folgende Langzeitwirksamkeit abgedeckter, d.h. UV-geschützt eingebauter PEHD-Dichtungsbahnen in Abhängigkeit von der einwirkenden Temperatur auf der Basis von ARRHENIUS-Extrapolationen angegeben werden, die auf Angaben von Koerner & Hsuan [14] sowie Müller [20] zurückgehen (Tabelle 2):

Tabelle 2: Langzeitwirksamkeit von PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

Temperatur (°C)	Langzeitwirksamkeit (Jahre)
20	400 – 1000
25	250 – 600
30	150 – 400
35	100 – 250
40	60 – 180

In der angegebenen Zeitspanne werden auf der Basis aggressiver Laboreinlagerungsversuche bei 80°C zur Beschleunigung der Alterungsvorgänge bei gleichbleibender Temperatur die maßgebenden mechanischen Eigenschaften abgebaut. Gemäß Tabelle 2 werden bei konstanter Umgebungstemperatur für die Dichtungsbahn von z. B. 30°C in 150 bis 400 Jahren die mechanischen Eigenschaften soweit abgebaut, dass eine spröde Kunststoffplatte zurückbleibt, die ihre abdichtende Wirkung wohl aber immer noch erfüllt. Diese in der Literatur [20] mit "Lebensdauer" bezeichnete Zeitspanne ist daher die gesuchte Langzeitwirksamkeit mit immer noch vorhandener Dichtwirkung einer versprödeten HDPE-Platte, die auf einem lange aus der Nachsorge entlassenen stabilen Deponiekörper aufliegt und dauerhaft ihre Dichtungsfunktion erfüllt. Auch bei teilweise unterschiedlichen Nachweisführungen darf diese Grundaussage auf BAM-zugelassene oder GM13-geprüfte HDPE-Kunststoffdichtungsbahnen übertragen werden. Entsprechende Qualitätssicherheitssysteme könnten langzeitwirksame Dichtungssysteme in der ganzen Welt gewährleisten.

5.2.2 Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)

Vor nunmehr 20 Jahren entwickelt, haben schubkraftübertragende Bentonitmatten oder geosynthetische Tondichtungsbahnen als Ersatz oder zur Verbesserung der klassischen erdbau-technisch hergestellten Tondichtung bereits weltweit verbreitete Anwendung in Deponiedichtungssystemen gefunden. Den größten einzelnen Markt bildet hier Nordamerika, gefolgt von Europa. Die Marktbedingungen führten in Nordamerika zu Bentonitmatten mit dem Einsatz von Bentonitgranulat in vernadelten oder verklebten Textil-Bentonit-Verbundprodukten. In Europa dominiert die vernadelte Bentonitmatte mit Bentonitpulver als faserbewehrtes Dichtungselement im Deponiebau. Während verklebte Bentonitmatten wegen der notwendigen Wasserlöslichkeit der eingesetzten Kleber im gequollenen, dichtwirksamen Zustand kaum

Schubkräfte übertragen können, müssen vernadelte, faserbewehrte Bentonitmatten besonders an steilen Böschungen langfristig Schubkräfte übertragen.

In Deutschland wurde jüngst für zwei Produkte (Bentofix B 4000 und Bentofix BZ 6000) von der LAGA-Adhoc-Gruppe "Deponietechnische Vollzugsfragen" die Eignungsbeurteilung für den Einsatz als mineralische Dichtungskomponente in Deponieoberflächendichtungssystemen (DK I) dem Ausschuss für abfalltechnische Fragen (ATA) der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) zur Erteilung zugeleitet und eine Erweiterung auf DK II mit zwei ergänzenden Nachweisen in Aussicht gestellt.

Die deutschen Behördenvertreter der LAGA-Adhoc-Gruppe haben damit die Nachweise für eine dauerhafte Standsicherheit und eine dauerhafte Dichtwirkung dieser Produkte akzeptiert. Vorausgegangen war ein mehrjähriges Nachweisverfahren, das auf Prüfergebnisse und Gutachten zu einer früheren Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) aufbauen konnte.

Zum Nachweis der dauerhaften Schubkraftübertragung konnte die BAM nach Entwicklung und Durchführung entsprechender Zeitstandsversuche [19] im Jahre 2004 ein Gutachten über die Langzeit-Scherfestigkeit der untersuchten Bentonitmatte mit extrapolierter Funktionsdauer bei 15°C Umgebungstemperatur von über 400 Jahren vorlegen.

Einige Proben dieser Langzeitreihe wurden anschließend in Kurzzeitscherversuchen auf die noch vorhandene innere Restscherfestigkeit überprüft. Für die in den Versuchen der BAM künstlich über Jahrhunderte gealterten Proben wurden weitere erhebliche Traglastreserven dokumentiert [12]. Zusammengefasst ergibt sich, dass bei der Anwendung in Deponieoberflächenabdichtungen die innere Scherfestigkeit allein der Geokunststoffkomponenten der untersuchten Bentonitmatten ausreicht, um einen für Jahrhunderte (>> 100 Jahre) stand sicheren Dichtungsaufbau sicherzustellen, ohne dass die zur Zeit möglichen Prüfmethode eine konkrete zeitliche Begrenzung der Funktionsdauer erlauben.

Der Nachweis der dauerhaften Dichtwirkung mit hoher Systemwirksamkeit wurde durch Versuche im Feld und Labor erbracht. Es wurde durch Auswertung und Aufgrabung von Testfeldern und Lysimetermessungen nachgewiesen, dass die schubkraftübertragenden, vernadelten einschichtigen Bentonitmatten mit pulverförmigem Na-Bentonit unter üblichen Systemrandbedingungen das (Selbst-) Heilungsvermögen besitzen, das man in der Fachwelt irrtümlich den dicken erdbautechnisch hergestellten mineralischen Dichtungen zugeschrieben hat, die Fähigkeit, nach Austrocknung und Rissbildung die eingetretene polyederartige Aggregat-

struktur in ausreichendem Umfang zu heilen und eine den Anforderungen genügende Dichtungswirksamkeit dauerhaft reversibel sicherzustellen.

Zum Nachweis der langfristig vorhandenen Dichtungswirkung bei wechselnden Feuchtebedingungen konnte seit 1998 auf eine spezielle Lysimeteranlage zurückgegriffen werden. Die Anlage besteht aus 6 Einzellysimetern und wird bis heute – wissenschaftlich und technisch begleitet u.a. durch das Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau an der Universität Hannover – ununterbrochen betrieben. Aufbau und erste Messergebnisse sind detailliert in [3] beschrieben. Die Auswertung der Messergebnisse zeigt deutlich die Unterschiede sommerlicher Trocken- und winterlicher Nässeperioden. Abb. 4 zeigt beispielhaft für einen Lysimeter die entsprechenden Wirkungsgrade einer Standard-Bentofix-Bentonitmatte bzw. die Systemwirksamkeit des gesamten Aufbaus hinsichtlich der vorhandenen Dichtungswirkung.

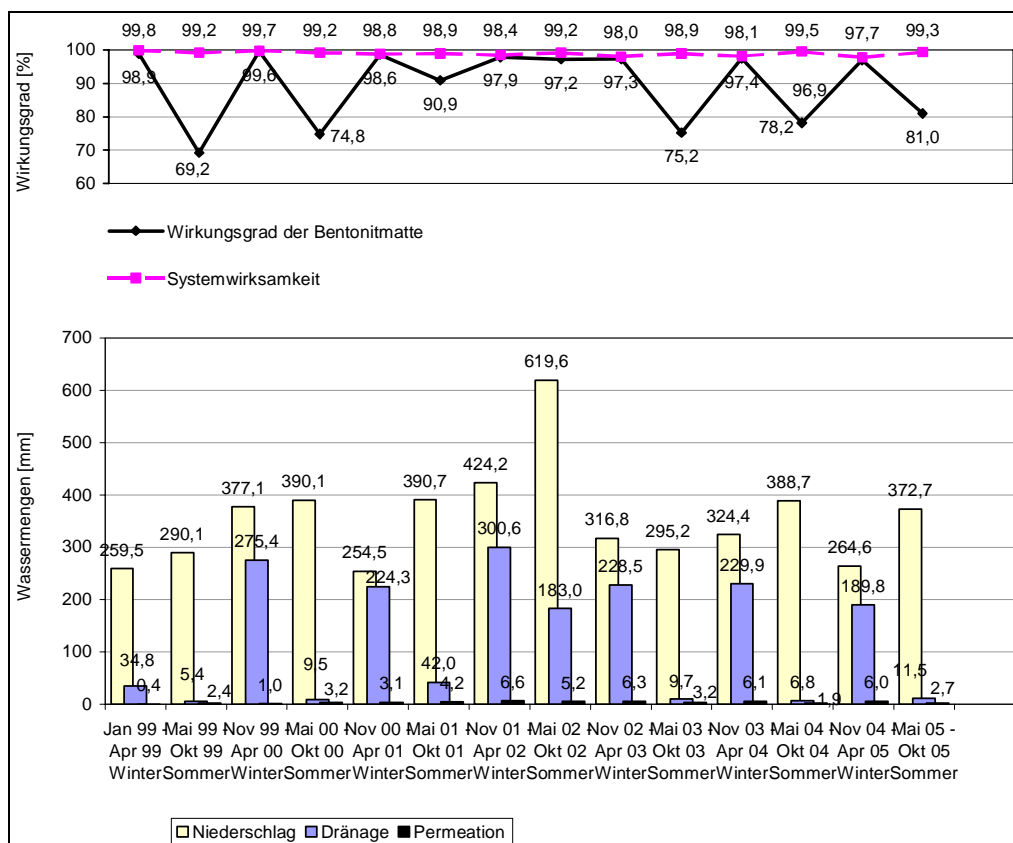


Abb. 4: Lysimeter 3 – Auswirkungen von Sommer- und Winterzyklen auf die Dichtungswirkung einer einschichtigen Standard-Bentofix-Bentonitmatte bei 1 m Rekultivierungsschicht

Dabei wurde der Wirkungsgrad der Bentonitmatte als Quotient der Durchsickerung bezogen auf die Dränspende, also den bis zur Bentonitmatte sickernden Wasseranteil des Niederschlags, berechnet. Die Systemwirksamkeit ergibt sich dagegen aus der Durchsickerung bezogen auf den gesamten Niederschlag und beschreibt neben der Sperrwirkung der Bentonitmatte auch den Verdunstungsanteil, der aus der Rekultivierungsschicht und der Vegetation herrührt. Man erkennt deutlich die in jedem Sommer stattfindende Reduzierung des Wirkungsgrades der Bentonitmatte durch Austrocknungsvorgänge, die aber durch sommerliche Evapotranspiration der Rekultivierungsschicht/Vegetation kompensiert werden, sodass die hohe Systemwirksamkeit von ca. 98-99 % erhalten bleibt. Genauso deutlich wird aber auch die in jedem Winter darauf folgende Verbesserung des Wirkungsgrades, die immer wieder das Vorjahresniveau erreicht. Da ein Ionenaustausch (Austausch von Na-Ionen gegen Ca-Ionen im Natrium-Bentonit) in der Bentonitschicht der im Lysimeter eingebauten Bentonitmatte 2-3 Jahre nach Einbau eingetreten ist, dokumentieren die Ergebnisse, dass eine Verminderung sowohl der Dichtwirkung von Bentofix als auch der Systemwirksamkeit infolge von Ionenaustausch in Oberflächenabdichtungssystemen mit vergleichbarem Aufbau auch nach vielen abwechselnden Trocken- und Nasszyklen nicht zu befürchten ist.

Mit diesen Nachweisen haben geosynthetische Tondichtungsbahnen das Langzeitwirksamkeitsniveau von HDPE-Kunststoffdichtungsbahnen erreicht.

Wenn es gelingt, die Qualität der Geokunststoffprodukte und die Qualität des Einbaus von Kunststoffdichtungsbahnen aus HDPE und von vernadelten geosynthetischen Tondichtungsbahnen entsprechend in der Welt zu etablieren, können dauerhaft wirksame Oberflächendichtungssysteme weltweit gebaut werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Vorgabe von Regelabdichtungssystemen mit klassischer Tondichtung als Dichtungselement in den Verwaltungsvorschriften sehr vieler Staaten und Bundesländer hat sich über Jahre die paradoxe Situation entwickelt, dass für diese Regelsysteme eine dauerhafte Langzeitwirksamkeit unterstellt und angenommen wurde, während alternative Systeme über Zulassungen oder Eignungsnachweise ihre "Gleichwertigkeit" und dauerhafte Langzeitwirksamkeit aufwendig nachweisen mussten – wenig Wissen über die Langzeitwirksamkeit der mineralischen Regelkomponente führte zu höherer Akzeptanz als viel Wissen über konkrete Nachweise für Geokunststoffe. Mit den aktuellen Erkenntnissen zum Versagenspotenzial der erdbautechnisch hergestellten Tondichtung des Regelsystems für Oberflächenabdichtungen

durch Austrocknung und Zwangsverformung und den vorhandenen Zulassungen und Eignungsnachweisen für alternative Komponenten ist es daher nur konsequent und uneingeschränkt zu begrüßen, wenn Geokunststoffprodukte in Deponiedichtungssystemen zunehmend Anwendung finden.

Die Regeldichtung mit bisher eindeutiger Fokussierung auf die erdbautechnisch hergestellte natürliche tonmineralische Dichtung als das "ewig" wirksame Dichtungselement wartet immer noch auf neue Entwurfs- und Ausführungskonzepte mit wahrscheinlich deutlichen höherem Nachweis-, Prüf- und Ausführungsaufwand. Über geologische/mineralogische Analogien von langer Beständigkeit des Werkstoffes "Tonmineral" an sich auf ebenso lange Wirksamkeit der wasser- und luftporenhaltigen Dichtungsschicht schließen zu wollen, ist nicht zielführend, wie viele Ergebnisse aus der Praxis deutlich zeigen.

Die Ewigkeitsgläubigkeit an Beständigkeit und Wirksamkeit der tonmineralischen (Regel)Dichtung erzeugt für technisch überlegene Alternativlösungen mit nachgewiesenen jahrhundertelangen Nutzungsdauern häufig unüberwindbare Hürden und verhindert bessere Lösungen für das übergeordnete Ziel des Schutzes der Umwelt. Im Sinne eines Aufrufs zu mehr Ehrlichkeit im Umgang mit Oberflächenabdichtungen von Deponien sind Grenzen material- und ingenieurtechnischer Prognosen für alle Systeme und Komponenten offen zu bekennen.

BAM-zugelassene oder GM13-geprüfte PEHD-Kunststoffdichtungsbahnen, gemäß Zulassungsbedingungen produziert und vom zertifizierten Fachverleger sorgfältig eingebaut, bieten die Gewähr für Nutzungsdauern, die alle seriösen ingenieurtechnischen Prognosezeiträume deutlich überschreiten. Entsprechendes Vertrauen in langfristige Wirksamkeiten darf für Bentonitmatten mit LAGA-Eignungsbeurteilung ebenfalls erwartet werden.

Die Deponietechnik der 90er Jahre hatte sich zum Ziel gesetzt, dass die Deponien dieser Zeit nicht zu den Altlasten für die nachfolgenden Generationen werden dürfen. Eignungsgeprüfte und qualitätsüberwacht eingebaute Geokunststoffe helfen weltweit, dieses Ziel durch dauerhaft wirksame Oberflächendichtungssysteme zu erreichen.

Literatur

- [1] Albright, W. H., Benson, C. H., Gee, G. W., Abichou, T., Tyler, S. W. and Rock, S.A. (2006): Vadose Zone Journal, Vol. 5, pp. 1157-1171 (On-Line Publication).
- [2] Albright, W. H., Benson, C. H., Gee, G. W., Abichou, T., Tyler, S. W. and Rock, S.A. (2006): "Field Performance of a Compacted Clay Landfill Final Cover at a Humid Site".
- [3] Blümel, W. et al. (2003): "Langzeituntersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit von Bentonitmatten in Lysimetern". Karlsruher Deponieseminar 2002, in: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Heft 125, Erich Schmidt Verlag 2003.
- [4] Gartung, E. und Schick, P. (2007): "Gemischtkörnige Abdichtungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen". Tagungsband "Anforderungen an Deponie-Oberflächenabdichtungssysteme", Status-Workshop in Höxter am 30.11./1.12.2006. Veranstalter: Arbeitskreis 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der DGGT (Deutschen Gesellschaft für Geotechnik) und Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik, Fachbereich Technischer Umweltschutz, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter. In: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 06, Juni 2007.
- [5] GDA-Empfehlung E2-13, 1997: Verformungsnachweis für mineralische Abdichtungsschichten, GDA-Empfehlungen, 3. Auflage, 1997, S. 135-140, Verlag Ernst & Sohn.
- [6] Heerten, G. und Reuter, E. (2005): "Kritische Anmerkungen zur Genehmigungspraxis bei Deponieoberflächenabdichtungen". 2. Symposium Umweltgeotechnik – DGGT, IFGT & CiF e.V., CiF Publication 3/2005, Freiberg, September 2005, pp. 35-52.
- [7] Heerten, G. und Reuter, E. (2006): "Die mineralische Dichtungskomponente in Oberflächenabdichtungssystemen – Quo vadis?" 22. SKZ-Fachtagung "Die sichere Deponie", Würzburg, Februar 2006.
- [8] Heerten, G. und Reuter, E. (2006): "Oberflächenabdichtungen von Deponien – Grenzen und Konsequenzen technischer Regelung". 13. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium, Darmstadt, März 2006.

- [9] Heerten, G. und Reuter, E. (2006): "Erfahrungen mit der mineralischen Komponente in Oberflächenabdichtungssystemen". Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft Nr. 83: Geotechnische Aspekte im Umweltschutz 2006, Fachseminar, Braunschweig, März 2006.
- [10] Heerten, G. (2007): "Zur Langzeitwirksamkeit von Komponenten für Deponieoberflächenabdichtungen", 18. Nürnberger Deponie-Seminar – Abdichtung, Stilllegung und Nachsorge von Deponien, Nürnberg, April 2007.
- [11] Henken-Mellies, U. (2007): "Kombinationsabdichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen". Tagungsband "Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme", Status-Workshop in Höxter am 30.11/1.12.2006. Veranstalter: Arbeitskreis 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik) und Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik, Fachbereich Technischer Umweltschutz, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter. In: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 06, Juni 2007.
- [12] Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau der Universität Hannover (IGBE, 2006): Versuche zur Bestimmung der "inneren Scherfestigkeit" geosynthetischer Tondichtungsbahnenproben mit der Bezeichnung "Bentofix B 4000 mit TL", die zuvor in besonderen Prüfgeräten einer mehrjährigen konstanten Schubbeanspruchung ausgesetzt waren, August 2006, unveröffentlichter Prüfbericht.
- [13] Koerner, R. M. and Koerner, J. R. (1999): "GRI's First Survey of Worldwide Liner and Cover Systems", GRI Report No. 23, GSI, Folsom, PA, USA, March 1999.
- [14] Koerner, R.M. and Hsuan Y.G. (2003): "Lifetime prediction of polymeric geomembranes used in new dam construction and dam rehabilitation". Proceedings Assoc. of State Dam Safety Officials Conference, Lake Harmony, Pennsylvania, 2003.
- [15] Koerner, R. M. (2005): Designing with Geosynthetics, 5th Edition. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2005.
- [16] Koerner, R. M. and Koerner, J. R. (2007): "GRI's Second Worldwide Survey of Solid Waste Landfill Liner and Cover Systems", GRI Report No. 34, GSI, Folsom, PA, USA, October 2007.

- [17] LaGatta, M.J., Boardman, B. T., Cooley, B. H. and Daniel, D. E. (1997): "Geosynthetic Clay Liners Subjected to Differential Settlement", Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 402-410.
- [18] Lehnert, C. (2002): "Setzungsmessungen an Hausmülldeponien – Konsequenzen für den Bau von Oberflächenabdichtungen und für die Beanspruchung der Dichtungselemente". 18. Fachtagung "Die sichere Deponie – Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen", Würzburg 2002.
- [19] Müller, W.W. (2003): "Langzeit-Scherfestigkeit von Geokunststoffen aus mehreren Komponenten". 19. Fachtagung "Die sichere Deponie", Süddeutsches Kunststoffzentrum Würzburg, Eigenverlag 2003.
- [20] Müller, W.W. (2007): HDPE Geomembranes in Geotechnics. Springer-Verlag, Heidelberg, 2007.
- [21] Ramke, H.-G., Witt, K. J., Bräcker, W., Tiedt, M.(Hrsg, 2007): Tagungsband "Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme", Statusworkshop in Höxter am 30.11/1.12.2006. Veranstalter: Arbeitskreis 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik) und Fachgebiet Abfallwirtschaft und Deponietechnik, Fachbereich Technischer Umweltschutz, Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter). In: Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 06, Juni 2007.
- [22] Witt, K. J. (2005): Plädoyer für eine angemessene Betrachtung des Langzeitaspektes bei der Planung und der Genehmigung von Oberflächenabdichtungen. In EGLOFFSTEIN ET AL. (Hrsg.): Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2005, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 135, S. 81-100, Erich Schmidt Verlag.